

Eurokoodin soveltamisohje**Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)**

G	KUORMIEN YHDISTELY (SFS-EN 1990/A1 LIITE A2)	54
G.1	Käyttötarkoitus	54
G.2	Kuormien yhdistely	54
G.2.1	Yleistä	54
G.2.2	Yhdistelykertoimien γ arvot	55
G.3	Murtorajatila	56
G.3.1	Normaalisti vallitsevat mitoitustilanteet	56
G.3.2	Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitustilanteet	58
G.4	Käyttörajatila	59
H	EUROKOODIN SOVELTAMISALAN ULKOPUOLELLE JÄÄVÄT KUORMAT JA MUUT LISÄOHJEET	65
H.1	Jääkuormat	65
H.2	Tukipainumat	66
H.3	Laakerikitka	66
H.4	Maanpaineen käsittely	67
H.5	Vedenpinnan asema	67
H.6	Betonin kutistuminen ja viruminen	68
H.7	Jännevoima	68
H.9	Siltalaakerien mitoituskauormat	68
H.10	Pintarakenteet	68
H.11	Suomalaiset junatyypit väsymismitoituksessa	69
H.12	Siirtomenetelmällä rakennettavat sillat	74
H.13	Tukikorkopoikkeamat	74

LIITTEET

Liite 1A – Tiesiltojen kuormien yhdistelytaulukot

Liite 1B – Rautatiesiltojen kuormien yhdistelytaulukot

Liite 1C – Kevyen liikenteen siltojen kuormien yhdistelytaulukot

A Omapaino (SFS-EN 1991-1-1)

A.4 Rakennusmateriaalien ja varastoitavien tuotteiden tilavuuspainot

Rakenteiden painosta aiheutuviksi pysyviksi kuormiksi katsotaan rakenneosien paino ja muu rakenteeseen vaikuttava muuttumaton kuorma kuten täytteet ja päällysteet, maanpaine sekä kuorma, joka aiheutuu alivedenkorkeudella olevasta vedestä.

Materiaalien tilavuuspainoja esitetään standardissa SFS-EN 1991-1-1 (liitteen A taulukot). Standardin kappaleessa 5.2.3 on esitetty siltoja koskevia lisäsääntöjä. Ellei hankekohtaisesti muuten määrätä, voidaan rakenneosien painoa laskettaessa käyttää seuraavia standardin SFS-EN 1991-1-1 liitteen A taulukoihin perustuvia tilavuuspainoja (yleensä käytetään yläraja-arvoja):

Taulukko A.1 Sillanrakennusmateriaalien tilavuuspainoja

Materiaali	Tilavuuspaino
Betoni	24 kN/m ³
- kovettumaton betoni	25 kN/m ³
- raudoitettu betoni	25 kN/m ³
Sementtilaasti	19...23 kN/m ³
Rakenneteräs	77..78,5 kN/m ³
Valurauta	71...72,5 kN/m ³
Alumiini	27 kN/m ³
Puu (EN338)	
- C14 / C30 / D50 / D70	3,5 / 4,6 / 7,8 / 10,8 kN/m ³
Liimapuu (EN 1194)	
- GL24h / GL36h / GL24c / GL36c	3,7 / 4,4 / 3,5 / 4,2 kN/m ³
Kreosoottikyllästetty puu	6 kN/m ³
Puiset muotit ja telineet	6 kN/m ³
Valuasfaltti ja asfalttibetoni	24..25 kN/m ³
Asfalttimastiksi	18..22 kN/m ³
Jyräasfaltti	23 kN/m ³
Hiekka, kuiva	15..16 kN/m ³
Sepeli ja sora, irtonainen	15..16 kN/m ³
Maabetoni	18,5..19,5 kN/m ³
Murskattu masuunikuona	13,5..14,5 kN/m ³
Sullottu kivimurske	20,5..21,5 kN/m ³

Tiivistysäavi	18,5..19,5 kN/m ³
Rautatiesiltöjen päällyskerros:	
- Betoninen suojakerros	25 kN/m ³
- Normaali sepelikerros	18 kN/m ³
- Basalttisepelikerros	26 kN/m ³
- Pengertäyte	20 kN/m ³
- Suojakiskot	1,5 kN/m
- Yhden raiteen betonipölkylt ja kiskot	6,2 kN/m

Päällysteen painoa laskettaessa varaudutaan lisäpäällystekerrokseen, jonka paino on 1 kN/m².

Tukikerroksen painoa laskettaessa, käytetään tukikerroksen paksuutena vähintään 600 mm. Tukikerroksen painossa varaudutaan myös 200 mm lisätukikerrokseen.

A.4.3.1 Siltöja koskevat lisäsäännöt

Standardin SFS-EN 1991-1-1 kappaleessa 5.2.3 esitettyjä eri materiaalien ylä- ja alaraja-arvoja ei tarvitse ottaa huomioon, ellei hankekohtaisesti toisin määrätä.

B Siltojen liikennekuormat (SFS-EN 1991-2)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-2 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

B.1 Yleistä

B.4 Tieliikennekuormat ja tiesiltoja koskevat kuormat

B.4.2 Yleistä

B.4.2.1 Kaistajako

Ajoneuvokuorma (dynaaminen suurennusvaikutus mukaan luettuna) määritetään käyttäen kuormakaavioita LM1...LM4. Rakenteen jokainen osa mitoitetaan sille kaa-
violle, joka antaa määräävän vaikutuksen. Kuormakaavio LM4 edustaa tungos-
kuormaa, jonka käyttö voidaan määritellä hankekohtaisesti.

Kuormakaavioiden LM1...LM4 oletetaan kuormittavan sillan pituussuuntaista pintaa, kuormakaistaa, jonka leveys on 3 m. Kuormakaistojen lukumäärä ja sijoittelu sillan poikkisuunnassa valitaan siten, että saavutetaan määräävä vaikutus.

Sillan koko kansi mitoitetaan liikennekuormakaavioille. Kuormakaistojen lukumäärä on enintään se määrä, joka sillalle sen leveyssuunnassa mahtuu. Erityistapauksissa (esim. ajorampit tienristeyksien läheisyydessä, leveät yksiajokaistaisten teiden sillat jne.) määritellään kuormakaistojen lukumäärä hankekohtaisesti.

Sillan kansi (yleensä hyödyllinen leveys) jaetaan 3 metrin kuormakaistoihin. Mikäli hyödyllinen leveys on 5,4...6 metriä asetetaan kannelle kaksi yhtä leveää kuormakaistaa. Kun hyödyllinen leveys on vähemmän kuin 5,4 metriä kannelle asetetaan yksi 3 metrin kuormakaista.

Kuormakaavioiden pystykuormat voidaan jakaa murskekerroksessa suhteessa 2:1 ja pintarakenteissa suhteessa 1:1.

Lisätietoja ks. SFS-EN 1991-2 kohdat 4.2.3, 4.2.4 ja 4.2.5.

B.4.3 Pystykuormat

B.4.3.2 Kuormakaavio LM1

Kuormakaavio LM1 koostuu kuormakaistoille sijoitettavista tasaisesti jakautuneista kuormista $\alpha_{qi} \times q_{ik}$ sekä kahden akselikuorman $\alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ muodostamista telikuormista. Telikuormien akseliväli on 1,2 m ja ne sijoitetaan sillalle siten, että saadaan mahdollisimman epäedullinen vaikutus. Akseli koostuu kahdesta 2 m:n etäisyydellä toisistaan sijaitsevasta pyöräkuormasta, jonka kosketuspintana on 0,4x0,4 m² (ks. SFS-EN 1991-2 kuvat 4.2a ja 4.2b). Mikäli sillan kannelle jää alue, jolle ei valitulla kuormakaistojen

Eurokoodin soveltamisohje**Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)**

jaolla muuten sijoiteta liikennekuormia, sijoitetaan sille taulukon B.1 rivin ”kaistojen ulkopuolinen alue (q_{rk})” mukainen kuormitus, joka vaikuttaa samanaikaisesti kuormakaistojen liikennekuorman kanssa.

Telit sijoitetaan päällysrakenteita tarkasteltaessa kuormakaistan keskelle. Hankekohdaisesti niin määrättäessä vierekkäisten kuormakaistojen telien pyöräkuormien keskinäinen etäisyys sillan poikkisuunnassa voi olla 0,5 m (ks. SFS-EN 1991-2 kuva 4.2b).

Kuormakaavion kuormakaistojen määrä ja sijoittelu kaksiajorataisen sillan tapauksessa määritellään hankekohtaisesti.

Telikuorman ja tasan jakautuneen kuorman ominaisarvot kerrottuna α -kertoimilla on esitetty taulukossa B.1 (vrt. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.2):

Taulukko B.1 Kuormakaavion LM1 kuormien ominaisarvot α -kertoimilla kerrottuna

Sijainti	Yleiset tied			
	Telikuorma		UDL	
	α_{qi}	$2 \times \alpha_{qi} \times Q_{ik}$ (kN)	α_{qi}	$\alpha_{qi} \times q_{ik}/q_{rk}$ (kN/m ²)
Kaista nro 1	1,0	2×300	1,0	9
Kaista nro 2	1,5	2×300	2,4	6
Kaista nro 3	0	-	1,2	3
Muut kaistat	-	-	1,2	3
Kaistojen ulkopuolinen alue (q_{rk})	-	-	1,2	3

Valtion apua saavat yksityisteiden sillat ks. B.4.9.

B.4.3.3 Kuormakaavio LM2

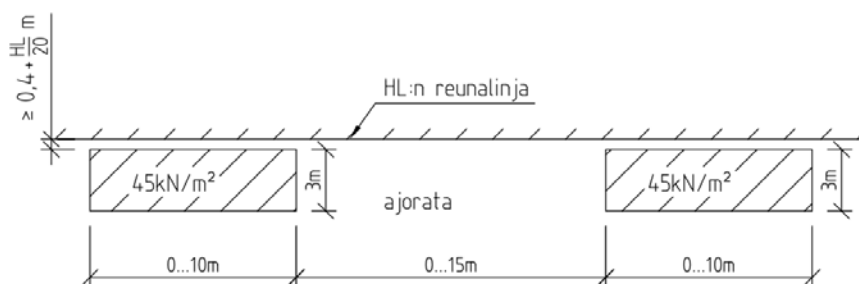
Kuormakaavio LM2 koostuu kuormakaistoille sijoitettavasta akselikuormasta $\beta_Q \times Q_{ak}$, jossa Q_{ak} on 400 kN. Rakennetta voidaan kuormittaa vain akselin toisella pyöräkuormalla ($\beta_Q \times 200$ kN), jos koko akseli ei mahdu ko. rakenteen kohtaan.

Akseli koostuu kahdesta 2 m:n etäisyydellä toisistaan sijaitsevasta pyöräkuormasta, jonka kosketuspintana on 0,35×0,6 m suorakulmio. Kuormakaavion leveys on 3 metriä. Pyöräkuorma voi sijaita reunakiven vieressä. (ks. SFS-EN 1991-2 kuva 4.3). Globaaleja vaikutuksia tutkittaessa voidaan kosketuspinta-alaksi otaksua sama 0,4×0,4 m² kuin kuormakaaviolla LM1. Liikuntasuomalaitteiden vieressä käytetään dynaamista lisäsuurennuskerrointa standardin SFS-EN 1991-2 kohdan 4.6.1 (6) mukaisesti.

Suomessa käytetään kertoimen β_Q arvona 1,0.

B.4.3.4 Kuormakaavio LM3

Kuvassa B.1 esitettyä kuormakaaviota LM3 käytetään aina yleisten teiden silloilla, jollei hankekohtaisesti toisin määrätä. Kuormakaaviolla mitoitetaan rakenteet murto-rajatilassa ja käyttörajatilassa (ominaisyhdistely) sekä tarkistetaan alusrakenteiden kantavuus. Kuormakaavio sijaitsee yhdellä kaistalla.



Kuva B.1 Kuormakaavio LM3

Asianomainen viranomais voi määrittää täydentäviä käyttöehtoja myös hankekohtaisesti (esim. voidaan sopia standardin SFS-EN 1991-2 liitteessä A esitettyjen vakiokaavioiden käytöstä).

B.4.3.5 Kuormakaavio LM4

Kuormakaavio LM4 edustaa tungoskuormaa ja sen käytöstä määrätään hankekohtaisesti. Kuormakaaviossa kuormana on tasaisesti jakautunut kuorma 5 kN/m², joka jaetaan sillan hyötyleveydelle niin, että siitä syntyy määräävä vaikutus.

B.4.4 Vaakakuormat

B.4.4.1 Jarrutus- ja kiihdytyskuormat

Ajoneuvon jarrutuksen ja kiihdytyksen aiheuttaman vaakasuora jarrukuorma Q_{lk} vaikuttaa pituussuuntaisesti ajoradan pinnan tasolla. Kuorman voi otaksua jakaantuvan tasaisesti koko ajoradan leveydelle. Kuorman ominaisarvo Q_{lk} lasketaan kaavalla:

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{q1}(2Q_{lk}) + 0,10\alpha_{q1}q_{1k}w_1L \quad (B.1)$$

Edellisissä kappaleissa esitetyllä sovituskertoimella kerrottuna Suomessa käytettävä jarrukuorman arvo on:

$$Q_{lk} = 360 + 2,7 \times L[kN] \quad (B.2)$$

Määriteltäessä jarrukuormaa tarkoitetaan siltakannen pituudella todellista yhtenäisen sillan osan pituutta, ts. pituutta, joka vastaa etäisyyttä kahden sellaisen ylimenolaitteen välillä, jotka eivät siirrä vaakakuormia.

Rakenteet, jotka voidaan kuormittaa kahdesta tai useammasta sillan osasta aiheutuvalla jarrukuormalla, mitoitetaan yhdelle (määräavalle) jarrukuormalle Q_{lk} .

Suomessa käytetään jarrukuorman ylärajana 500 kN. ks, standardin 1991-2 kohta 4.4.1.

Liikuntasaumoihin ja yhden akselin kuormittamiin rakenneosiin vaikuttava vaakasuuntainen kuorma saadaan kaavalla

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{q1}Q_{lk} \quad (B.3)$$

Jarrukuorman aiheuttama päällysrakenteen laskennallinen vaakasiirtymä saa olla enintään 20 mm.

B.4.4.2 Keskipakokuorma ja muut vaakasuuntaisesti vaikuttavat kuormat

Keskipakokuorma Q_{tk} vaikuttaa valmiin ajoradan pinnan korkeudella ajoradan säteen suunnassa pistekuormana missä tahansa kannen poikkileikkauksessa, joka sijaitsee säteen r alueella. Voiman Q_{tk} ominaisarvo, jossa dynaamiset vaikutukset ovat mukana, saadaan taulukosta B.2.

Taulukko B.2 Keskipakokuorman ominaisarvo

Q_{tk} [kN]	r [m]
$0,2Q_v$	200
$40 \cdot Q_v / r$	200..1500
0	1500

r = ajoradan keskiviivan vaakasäde

Q_v = kuormakaavion LM1 telien pystysuuntaisten pistekuormien summa

Suomen kansallisilla valinnoilla $Q_v = 600$ kN mikäli siltakannelle mahtuu vain yksi kaista ja 1200 kN kun sillalle mahtuu ≥ 2 kaistaa.

Vinosta jarrutuksesta tai sivuluisusta aiheutuva poikittainen kuorma Q_{trk} on 25 % pituussuuntaisesta jarru- tai kiihdytyskuormasta Q_{lk} . Kyseinen kuorma vaikuttaa samanaikaisesti kuorman Q_{lk} kanssa.

Sivukuorman aiheuttama päällysrakenteen laskennallinen vaakasiirtymä saa olla enintään 20 mm.

B.4.5 Kuormaryhmät

Liikennekuormista (pysty- ja vaakakuormista) muodostetaan ns. kuormaryhmiä, joita käsitellään yksittäisinä kuormina kuormitusyhdistelyissä. Tieliikenteen silloilla kuormaryhmiä on yhteensä kuusi kappaletta, eivätkä ne voi esiintyä samanaikaisesti kuormitusyhdistelyssä. Tieliikenteen siltöjen kuormaryhmät on esitetty taulukossa B.3.

Taulukko B.3 Tieliikenteen siltöjen kuormaryhmät

Taulukko 4.4a (FI) - Liikennekuormaryhmien määrittäminen (useasta komponentista muodostuvien kuormitusten ominaisarvot)

Rakennus	AJORATA PIENTAREINEEN								Kevyen liikenteen väylä
	Pystykuormat				Vaakakuormat				
	LM1		LM2	LM3	LM4	Jarru- ja kiihdytyskuormat		Keskipakokuorma ja sivukuorma	
	Teli	UDL	Yksittäinen akseli	Erikoiskuorma	Ruuhkakuormitus	[EN 1991-2 4.4.1]		[EN 1991-2 4.4.2]	
	[EN 1991-2 4.3.2]		[EN 1991-2 4.3.3]	[EN 1991-2 4.3.4]	[EN 1991-2 4.3.5]				
gr1a	Ominaisarvo							Yhdistelyarvo 3 kN/m ²	
	1	1							
gr1b			Ominaisarvo 1						
gr2	Tavallinen arvo (ψ_1)					Ominaisarvo 1	Ominaisarvo 1		
	0,75	0,4							
gr3								Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr4					Ominaisarvo 1			Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr5				Ominaisarvo 1					

Taulukkoon on kirjoitettu sisään (eurokoodin alkuperäisestä taulukosta poiketen, ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.4a) käytettävät yhdistelykertoimet sekä Suomen kansalliset valinnat.

Eurokoodin soveltamisohje
Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)

Tiesiltojen yhdistelykertoimet (γ_0 , γ_1 ja γ_2) esitetään taulukossa G.1 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G.4...G.8. Tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 on esitetty sillansuunnittelussa käytettävät kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

Eri kuormaryhmillä on selvä käyttötarkoituksensa (mitoittavat eri asioita) ja kaikkia kuormaryhmiä ei tarvitse aina muodostaa. Alla on eritelty kunkin kuormaryhmän sisältö (sulkuihin on kirjoitettu mahdollinen käyttötarkoitus ko. kuormaryhmälle).

gr1a (MRT_1 liitteen 1A taulukossa 1):

- Pystysuora liikennekuorma LM1 ominaisarvolla
- Mahdollisen kevyen liikenteen kaistan kuorma 3 kN/m²
- Mitoittaa usein pääkannattimet ja kansilaatan poikittain
- Yleensä aina mitoitettava, aina laskettava

gr1b (MRT_2):

- Pystysuora liikennekuorma LM2 ominaisarvolla
- Mitoittaa mahdollisesti ortotrooppikannen, ulokkeen yms.
- Yleensä ei mitoitettava, yleensä kuitenkin laskettava

gr2 (MRT_3):

- Pystysuora liikennekuorma LM1 tavallisella arvolla (telikuormat kerrottuna arvolla 0,75 ja tasaiset kuormat arvolla 0,40)
- Liikenteestä aiheutuvat vaakakuormat ominaisarvolla
- Mitoittaa usein alusrakenteet
- Usein mitoitettava, aina laskettava

gr3 (MRT_4):

- Pelkästään kevyen liikenteen kaistat kuormitettuna pintakuormalla 5 kN/m²
- Harvoin mitoitettava

gr4 (MRT_5):

- Kevyen liikenteen kaistat kuormitettuna pintakuormalla 5 kN/m²
- Muut kaistat kuormitettuna ruuhkakuormalla 5 kN/m²
- Harvoin mitoitettava

gr5 (MRT_6):

- Yliraskaan erikoiskuorman kuormakaavio LM3 ominaisarvolla
- Mitoittaa mahdollisesti rakenteita murtorajatilassa
- Usein mitoitettava ja aina laskettava

Ajoneuvoliikenteen silta mitoitetaan kauttaaltaan ajoneuvoliikenteen kuormakaavioille riippumatta suunnittelusta käyttötarkoituksesta.

B.4.6 Väsytytkuormat

B.4.6.1 Yleistä

Eurokoodissa (SFS-EN 1991-2 kappale 4.6) esitetään viisi erilaista väsytytkuormakaaviota. Väsytytkuormakaavioita FLM1, FLM2 sekä FLM3 käytetään kuormakaavioiden aiheuttamien maksimi- ja minimijännitysten määrittämiseen ja kaavioita FLM4 sekä FLM5 jännitysvaihteluvälin spektrin määrittämiseen.

Ensisijaisesti suositellaan käytettäväksi väsytytkuormakaavioita FLM3. Lisäksi väsytytkuormakaaviota FLM1 voidaan käyttää tarkistettaessa voidaanko väsymisikää pitää rajattomana. Muiden kuormakaavioiden käytöstä tulee sopia asianomaisen viranomaisen kanssa hankekohtaisesti.

Mikäli väsyttävän kuorman sijainnilla (poikkisuunnassa) kaistalla on merkittävää vaikutusta mitoitusmenetelmään (esim. paikallisia voimasuureita määritettäessä), otetaan poikittaisen sijainnin jakauma huomioon standardin SFS-EN 1991-2 kuvan 4.6 mukaan.

Liikuntasaumalaitteiden läheisyydessä otetaan huomioon dynaaminen lisäsuurennuskerroin, joka saadaan kaavalla:

$$\Delta\varphi_{fat} = 1,30 \cdot (1 - D/26) \geq 1,0 \quad (\text{B.4})$$

, missä D on etäisyys (m) liikuntasaumalaitteesta. Kyseistä lisäsuurennuskerrointa voidaan käyttää myös muiden mahdollisten epäjatkuvuuskohtien kohdalla (esim. SFS-EN 1993-1 kohta 7.8.2 (2), ks. myös tämän soveltamisohjeen kohta B.4.3.3).

Tarkempi väsymismitoitustapa esitetään materiaalikohtaisissa soveltamisohjeissa.

B.4.6.2 Väsytytkuormakaavio FLM1

Väsytytkuormakaavio FLM1 on rakenteeltaan samanlainen kuin kohdassa B.4.3.2 määritelty kuormakaavio LM1 siten, että akselikuormien arvot ovat $0,7 \times \alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ ja taajuuksien arvot $0,3 \times \alpha_{Qi} \times Q_{ik}$.

Väsytytkuormakaavio FLM1 aiheuttamat maksimi- ja minimijännitykset $\sigma_{FLM,max}$ ja $\sigma_{FLM,min}$ määritetään sijoittamalla kaavio FLM1 kuormat sillalle siten, että ääriarvot saavutetaan. Saatua jännityksiä verrataan kestävyysarvoihin materiaalikohtaisissa soveltamisohjeissa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

B.4.6.3 Väsytytkuormakaavio FLM2

Väsytytkuormakaaviota FLM2 ei käytetä.

B.4.6.4 Väsytytkuormakaavio FLM3

Väsytytkuormakaaviota FLM3 suositellaan käytettäväksi väsymismitoituksessa.

Väsytytkuormakaavio FLM3 koostuu neljästä akselistä (akselipaino 120 kN), joista jokaisessa on kaksi samanlaista pyörää (kosketuspinta on neliö, jonka sivumitat ovat 0,4 m). Akselivälit ovat 1,2 + 6 + 1,2 metriä ja akselien rengasväli on 2,0 metriä (ks.

SFS-EN 1991-2 kuva 4.8). Hankekohtaisesti voidaan määrätä toisen ajoneuvon käytöstä eurokoodin mukaisesti (akselipaino 36kN).

Väsytytkuormakaavion aiheuttamat maksimi- ja minimijännitykset $\sigma_{FLM,max}$ ja $\sigma_{FLM,min}$ määritetään sijoittamalla kaavion kuormat sillalle siten, että ääriarvot saavutetaan. Saatuja jännityksiä verrataan kestävyysarvoihin materiaalienkohtaisissa soveltamisohjeissa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

Kun käytetään väsytytkuormakaaviota FLM3, saadaan ajoneuvojen lukumäärä taulukosta B.4 (SFS-EN 1991-2 kansallinen liite, taulukko 4.5n(FI)). Taulukon oikeanpuolisen sarakkeen liikennemäärien arvot ovat laskennallisia arvoja, joiden avulla määritetyt λ_2 -arvot vastaavat todellisen liikenteen aiheuttamia väsyttäviä vaikutuksia kyseisessä liikenteen luokassa.

Tässä tapauksessa hitaan liikenteen kaistalla tarkoitetaan väsytyksen kannalta määrävää kuormakaistaa.

Taulukko B.4 Ajoneuvojen lukumäärä väsytytkuormakaavioille FLM3

Liikenteen luokat (suluissa on esitetty kriteerit liikenteen luokan valinnalle: raskaiden ajoneuvojen määrä/vrk/suunta sillan käyttöiän alussa)		N _{obs} vuotta ja hitaan liikenteen kaistaa kohti (Laskennassa käytetty raskaiden ajoneuvojen määrä/vuosi/suunta)
1	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla suuntaa kohti on vähintään 2 kaistaa, ja joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on suuri (> 1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	2,0 × 10 ⁶
2	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on keskimääräinen (200...1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	0,5 × 10 ⁶
3	Päätiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (50...200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	0,125 × 10 ⁶
4	Paikallistiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (< 50 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	0,05 × 10 ⁶

Ellei hankekohtaisesti toisin määrätä, käytetään liikenteen jakaumana standardin SFS-EN 1991-2 taulukon 4.7 liikenteen tyyppiä ”keskipitkä liikenne”, kun sillan suurin jännemitta on alle 40 metriä. Suurimman jännemitan ollessa yli 60 metriä käytetään liikenteen tyyppiä ”kaukoliikenne”. Jännemitan ollessa 40-60 metriä laskennassa käytettävä λ_2 -arvo interpoloidaan ”keskipitkän liikenteen” ja ”kaukoliikenteen” arvojen väliltä.

Taulukkojen B.4 ja 4.7 (standardissa SFS-EN 1991-2) avulla voidaan määrittää väsymismitoituksessa tarvittava ekvivalentti vauriokerroin λ_2 teräs- ja liittosilloille (ks. SFS-EN 1993-2 kappale 9.5.2) sekä $\lambda_{s,2}$ betonisilloille (ks. SFS-EN 1992-2, liite NN). Kyseisten taulukoiden kansalliset valinnat on valittu siten, että mitoitus vastaa todellista suomalaista raskasta liikennettä.

Tarkempi väsymismitoitusmenettely sekä valmiiksi lasketut λ_2 – kertoimet eri liikenteen luokille ja tyypeille esitetään materiaalienkohtaisissa soveltamisohjeissa.

B.4.6.5 Väsytytkuormakaavio FLM4

Väsytytkuormakaaviossa FLM4 kuormitetaan siltaa sarjalla ekvivalentteja kuorma-autoja, jotka yhdessä tuottavat Euroopan teillä tyypillisen liikenteen kaltaiset vaikutukset (ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.7). Yksittäisten kuorma-autojen siltaa ylittäessään aiheuttamasta jännityksen vaihtelusta syntyvän jännitysvaihteluvälin spektrin ja vastaavan jaksojen lukumäärän määrittämiseen käytetään rainflow-menetelmää tai vesisäiliöanalogiaa.

Väsytytkuormakaavion FLM4 käytöstä voidaan sopia hankekohtaisesti asianomaisen viranomaisen kanssa. Väsytytkuormakaavion FLM4 käyttö on perusteltua kansirakenteen yksityiskohtien väsymismitoituksessa (esim. teräksinen ortotrooppikansi). Asianomainen viranomainen voi tarvittaessa määrittää standardin SFS-EN 1991-2 taulukon 4.7 liikenteen tyyppin sekä laskennassa käytetyt ekvivalentit akselikuormat myös hankekohtaisesti.

B.4.6.6 Väsytytkuormakaavio FLM5

Väsytytkuormakaavion FLM5 käytöstä voidaan sopia hankekohtaisesti asianomaisen viranomaisen kanssa. Väsytytkuormakaavio FLM5 muodostuu suoraan mitatusta liikennetiedosta ja asianomainen viranomainen voi määrittää liikenteen jakauman sekä lopulliset ekvivalentit akselikuormat hankekohtaisesti.

B.4.7 Onnettomuuskuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän soveltamisohjeen osiossa F. Standardin SFS-EN 1991-2 kappaleessa 4.7 esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava.

B.4.8 Liikennekuorma penkereellä

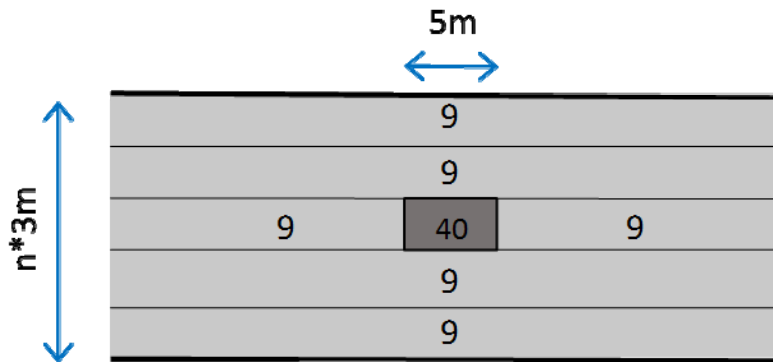
Laskettaessa tiepenkereellä sijaitsevan liikennekuorman maanpaineen vaikutuksia tiesiltöjen maatuikiin, tukimuureihin ja maanpaineeseiniin käytetään kuvassa B.2 esitettyä kuormakaaviota. Kuormakaavio asetetaan rakenteen taakse epäedullisimpaan asemaansa (hidas kaista voi sijaita millä tahansa 3 m:n kaistalla). Kuorma kattaa yleisimmät erikoiskuljetukset ja se sisältää dynaamisen lisän. Kuorma voi vaikuttaa samanaikaisesti siltakannella sijaitsevien akseli- ja pintakuormien kanssa. Kuormaa ei tarvitse tarkastella samanaikaisesti kuormakaavion LM3 kanssa.

Siltöjen maatuukien liukumis-, kantokestävyys- ja kaatumistarkasteluissa sekä paaluryhmien mitoituksessa seinän vieressä oleva pintakuorma tasoitetaan yhtenäiseksi tasaiseksi kuormaksi (esim. 15 metriä leveän maatuen etumuurin tapauksessa saadaan tasoitetuksi pintakuormaksi $(3 \cdot 40 + (15 - 3) \cdot 9) / 15 = 15,2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$).

Siltöjen siipimuurien rakenteellisessa mitoituksessa kuormakaaviota käytetään sellaisenaan.

Tukimuurien liukumis-, kantokestävyys- ja kaatumistarkasteluissa ei 40 kN/m^2 :in keskittynyttä kuormaa tarvitse sijoittaa tukimuurin viereen, jos kuormitustilanne todellisten kaistöjen sijainnin tai rakenteellisen esteen vuoksi on päätödennäköinen.

Ohjeita pintakuorman aiheuttamien jännitysten jakautumiseen maassa on esitetty eurokoodin soveltamisohjeessa NCCI 7.



Kuva B.2 Penkereellä sijaitseva liikennekuorma [kN/m^2] (ominaisarvo)

Tieliikennekuorman aiheuttaman maanpaineen osavarmuuslukuna käytetään samaa osavarmuuslukua kuin tieliikennekuormalle yleensä (1,35, ks. liite 1A: kuormien yhdistelytaulukot).

Yli 1,4 metrin syvyydellä maan peitossa oleviin jäykkiin vaakarakenteisiin (esim. betonitunnelin katto) vaikuttavat liikennekuormat voidaan määrittää soveltaen ohjeessa "Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu" esitettyjä kuormia ja yhdistelykertoimia. Alle 1,4 metrin syvyydellä maan peitossa olevat jäykät rakenteet mitoittaan siltöjen liikennekuormakaavioilla. Kuorman jakautumisen maassa voi ottaa huomioon.

Siirtymälaatan tukireaktio siltaan lasketaan seuraavilla otaksumilla:

- Siirtymälaatta on yksinkertainen palkki, jonka jännemitta on 60 % siirtymälaatan pituudesta. Loppuosa siirtymälaatasta tukeutuu suoraan penkereeseen.
- Tukireaktio otetaan huomioon päällysrakenteen kuormana vain, jos se vaikuttaa mitoituskuormaa lisäävästi.
- Siirtymälaatan päällä käytetään kuvan B.2 mukaista kuormaa tasoitettuna laatan leveydelle yhtenäiseksi tasaiseksi kuormaksi

Maatuen otsamuureihin (otsamuurin mitoituksessa) vaikuttaa sillan pituussuuntainen jarrukuorma, jonka suuruus on esitetty tämän soveltamisohjeen kappaleessa B.4.4.1. Jarrukuorman kanssa otsamuriin vaikuttaa samanaikaisesti myös pystysuuntainen akselikuorma 300 kN ($= a \times Q_{1k}$) sekä täytemaan maanpaine. Penkereellä sillan takana sijaitsevasta liikenteestä johtuvia vaakasuuntaisia kuormia ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti (ks. standardin SFS-EN 1991-2 kuva 4.11). Edellisissä kappaleissa esitetyllä sovituskertoimella kerrottuna liikuntasaumoihin ja yhden akselin kuormittamiin rakenneosiin vaikuttava vaakasuuntainen kuorma on 180 kN .

B.4.9 Valtionapua saavat yksityisteiden sillat

Valtionapua saavat yksityisteiden sillat mitoittetaan kuten yleisten teiden sillat. Kuormakaaviota LM3 ei tarvitse ottaa huomioon.

B.4.10 Työnaikaisten rakenteiden liikennekuormat

Työnaikaisten, yleisen liikenteen käyttämien, väliaikaisten siltöjen (varasillat, kiertöteiden sillat yms.) liikennekuormina voidaan käyttää hankekohtaisesti sovittuja pienempiä liikennekuorman LM1 arvoja. Ellei hankekohtaisesti muuta päätetä, voidaan kuormakaavion LM1 arvot kertoa luvulla 0,8.

B.4.11 Korjattavat sillat

Korjattavilla silloilla käytetään ohjeen *LO 17/2011 Betonisiltöjen korjaussuunnitteluohje (22.12.2017)* mukaisia liikennekuormia, jossa sovituskertoimenä α_{Qi} on käytetty arvoa 0,8. Ohjeen mukaisia kuormia voidaan käyttää myös muusta materiaalista kuin betonista tehdyillä silloilla, ellei hankekohtaisesti muuta kertoimen arvoa sovita Liikenneviraston silta-asiantuntijan kanssa.

B.5 Kevyen liikenteen siltöjen kuormat

B.5.3 Pystysuorien kuormien staattiset arvot

Kevyen liikenteen sillan suunnittelussa otetaan huomioon kolme eriaikaisesti vaikuttavaa kuormakaaviota:

- tasaisesti jakautunut kuorma q_{fk}
- pistekuorma Q_{fwk}
- huoltoajoneuvo Q_{serv}

Tasaisesti jakautunut kuorma q_{fk} asetetaan vaikuttamaan vaikutuspinnan pitkittäis- ja poikittaissuunnassa epäedullisilla osilla (shakkilautakuormitus). Kuorma määritetään kaavalla:

$$q_{fk} = 2,0 + 120 / (L + 30), 2,5 \leq q_{fk} \leq 5,0 [kN/m^2] \quad (B.5)$$

jossa L on kuormituspituus.

Jos sillalla on odotettavissa jatkuvan tiiviin tungoksen mahdollisuus, käytetään asianomaisen viranomaisen niin määritessä mitoituskuormana vähintään tämän soveltamisohjeen kappaleen B.4.3.5 tungoskuormaa (5 kN/m²).

Pistekuorman Q_{fwk} ominaisarvo on 20 kN, ja sen vaikutuspinta-ala on 0,2×0,2 m². Pistekuormaa käytetään, jos huoltoajoneuvon pääsy sillalle on estetty.

Huoltoajoneuvon kuormakaaviona käytetään standardin SFS-EN 1991-2 kuvan 5.2 mukaista onnettomuuskuormakaaviota. Kuormakaaviossa on kaksi akselia (akseliväli 3,0 m) kokonaispainoltaan 100 kN + 60 kN. Akselin rengaskuormien kosketuspinta-ala on 0,2×0,2 m² ja rengasväli 1,30 m. Suomen kansallisessa liitteessä on määritetty ajoneuvon leveydeksi 2,0 m.

Eurokoodin soveltamisohje
Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)

B.5.4 Vaakasuorien kuormien staattiset arvot

Kevyen liikenteen sillan pituussuuntaisen kuorman arvo on $Q_{flk} = 96$ kN. Mikäli huoltoajoneuvo ei pääse sillalle rakenteellisista syistä johtuen (esim. portaat sillan päissä), käytetään pituussuuntaiselle kuormalle arvoa 20 kN.

Sivukuorman suuruus on 25 % edellä esitetyistä pituussuuntaisen kuorman arvoista.

B.5.5 Kuormaryhmät

Kevyen liikenteen liikennekuormista (pysty- ja vaakakuormista) muodostetaan ns. kuormaryhmiä, joita käsitellään yksittäisinä kuormina kuormitusyhdistelyissä. Kevyen liikenteen silloilla kuormaryhmiä on yhteensä kaksi kappaletta, eivätkä ne voi esiintyä samanaikaisesti kuormitusyhdistelyssä. Kevyen liikenteen siltojen kuormaryhmät on esitetty taulukossa B.5.

Taulukko B.5 Kevyen liikenteen siltojen kuormaryhmät

	Pystykuormat		Vaakakuormat
	Tasainen kuorma q_{fk}	Huoltoajoneuvo Q_{serv} tai Pistekuorma Q_{fwk}	Q_{flk}
	[EN 1991-2 5.3.2.1]	[EN 1991-2 5.3.2.3]	[EN 1991-2 5.4]
	Ominaisarvo		Ominaisarvo
gr1	1		1
gr2		Ominaisarvo	Ominaisarvo
		1	1

Taulukkoon on kirjoitettu sisään (eurokoodin alkuperäisestä taulukosta poiketen, ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 5.1) käytettävät yhdistelykertoimet.

Kevyen liikenteen siltojen yhdistelykertoimet (γ_0 , γ_1 ja γ_2) esitetään taulukossa G.2 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G.4...G.8. Tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 on esitetty sillansuunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

B.5.6 Onnettomuuskuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän soveltamisohjeen kappaleessa F. Standardin SFS-EN 1991-2 kappaleessa 5.6 esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava.

B.5.7 Kevyen liikenteen dynaamiset mallit

Ks. kappale G.4.3.2. Lisäohjeita voidaan antaa myös materiaaliakohtaisissa soveltamisohjeissa. Asiantunteva viranomais voi antaa hankekohtaisesti lisäohjeita mukavuuskriteerejä koskien.

B.5.9 Kuorma penkereellä

Kevyen liikenteen väylillä maanpainetta aiheuttavana pystykuorman arvona käytetään 40 % kappaleen B.4.8 kuvassa B.2 esitetyistä arvoista (3,6 kN/m² ja 16 kN/m²).

Maatuen otsamuureihin (otsamuurin mitoituksessa) vaikuttaa sillan pituussuuntainen jarrukuorma 60 kN ja samanaikainen pystysuuntainen kuorma 100 kN sekä täyttömaan maanpaine. Penkereellä sillan takana sijaitsevasta liikenteestä johtuvia vaakasuuntaisia kuormia ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti (ks. standardin SFS-EN 1991-2 kuva 4.11).

B.5.10 Työnaikaisten rakenteiden liikennekuormat

Käytetään tämän ohjeen mukaisia kuormia, ellei hankekohtaisesti muuten päätetä.

B.5.11 Korjattavat sillat

Käytetään tämän ohjeen mukaisia kuormia, ellei hankekohtaisesti muuten päätetä.

B.6 Rautatieliikennekuormat ja muut erityisesti rautatiesiltoja koskevat kuormat

B.6.1 Soveltamisala

Siltöjen käyttöolosuhteista riippuvat erityisvaatimukset, kuten esimerkiksi vinoja siltoja ja tilapäisiä siltoja koskevat vaatimukset voidaan esittää hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

Tilapäiset sillat mitoitetaan kuten pysyvät sillat, mutta α -kerroin voidaan valita vastaamaan tilapäisen käytön aikana esiintyvää suurinta rautatieliikennekuormaa.

B.6.2 Rautatieliikennekuormien erittely syntytapansa mukaan

B.6.3 Pystykuormien ominaisarvot (staattiset vaikutukset) sekä kuormituksen epäkeskisyys ja jakautuminen

B.6.3.1 Yleistä

Junakuorma koostuu junan staattisia kuormia kuvaavasta kuormakaaviosta, junan dynaamisia kuormia kuvaavista pysty- ja vaakasuuntaisista lisäkuormista sekä keskipakokuormasta.

Seuraavat junakuormat muunnetaan vastaamaan rautatieliikenteen kaluston sallittuja akselipainoja kertomalla ne luokittelukertoimella α :

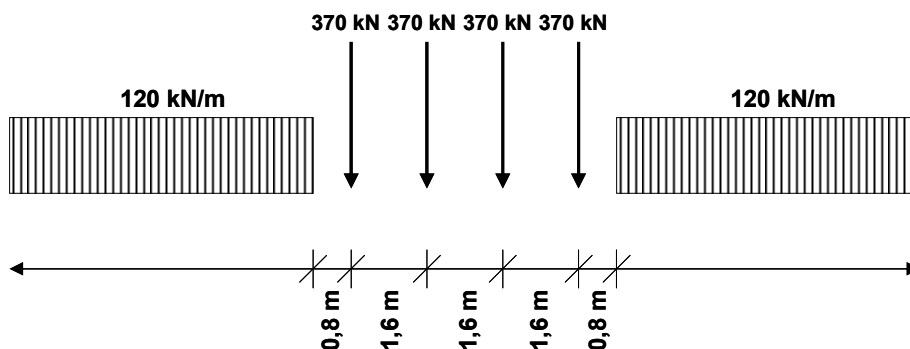
- Kuormakaavioiden LM71 ja SW/O pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset komponentit murto- ja käyttörajatilassa seuraavia poikkeuksia lukuun ottamatta:
 - Käyttörajatilan matkustajamukavuuskriteerijä tarkistettaessa ei kuormakaavioiden komponentteja tarvitse luokitella
 - Väsymisrajatilaa tarkistettaessa ei kuormakaavioiden komponentteja tarvitse luokitella

- Sillan kannella suistuneen junan pysty- ja vaakasuuntaiset kuormakomponentit
- Rautatieliikenteestä aiheutuvat maanpaineet

B.6.3.2 Kuormakaavio LM71

Kuormakaavio LM71 kuvaa levossa olevan normaalin rautatieliikenteen, jonka kaluston sallittu akselipaino on 22,5 tonnia, aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia. Kuormakaavio LM71 muodostuu neljästä ominaisakselikuormasta Q_{vk} ja ominaisnauhakuormasta q_{vk} . Akselikuormat ja nauhakuorma sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus. Nauhakuorma voi olla epäjatkua ja vaikuttaa kuinka monella osapituudella tahansa. Peräkkäisten akselikuormien lukumäärä voi vaihdella välillä 0...4 raidetta kohti.

Suomessa uudet rautatiesillat mitoitetaan kalustolle, jonka sallittu akselipaino on 35 tonnia. Kuormakaavio LM71 muunnetaan vastaamaan tätä kuormitusta kertomalla se 35 tonnin kalustoa vastaavalla luokittelukertoimella $\alpha = 1,46$. Näin saatua luokiteltua kuormakaaviota merkitään tunnuksella LM71-35.



Kuva B.3 Luokiteltu kuormakaavio LM71-35

Taulukossa B.6 on esitetty kerroin α ja kuormakaavion LM71 ominaisarvojen luokitellut arvot (akselikuormat ja nauhakuormat) kaluston sallitun akselipainon funktiona.

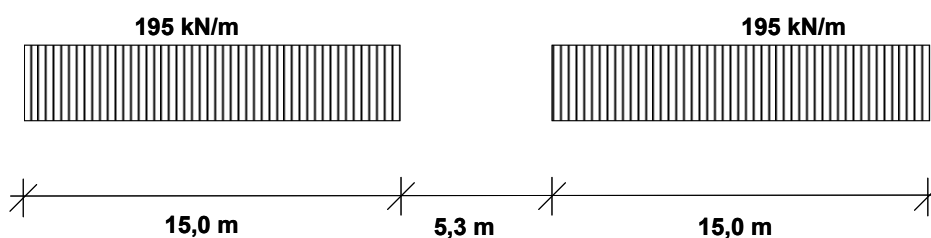
Taulukko B.6 Kaluston suurinta sallittua akselipainoa vastaavan luokitellun kuormakaavion tunnuksat sekä vastaavat staattiset nauhakuormien ja akselikuormien arvot.

Suurin sallittu akselipaino [t]	Luokitellun kuormakaavion tunnus	Kerroin α	Luokitellun kuormakaavion akseli-kuorma Q_v [kN]	Luokitellun kuorma-kaavion nauha-kuorma q_v [kN/m]
35	LM71-35	1,46	370	120
30	LM71-30	1,33	330	106
27,5	LM71-27,5	1,21	300	96
25	LM71-25	1,10	275	88
22,5	LM71-22,5	1,00	250	80
17	LM71-17	0,75	188	60

Käyttörajan siirtymien tarkastelu tehdään käyttäen luokiteltuja kuormakaavioita lukuun ottamatta matkustajamukavuuden tarkastelua, jolloin käytetään luokittelu-
tonta kuormakaaviota ($\alpha = 1,00$).

B.6.3.3 Kuormakaaviot SW/0 ja SW/2

Kuormakaavio SW/0 kuvaa levossa olevan normaalin rautatieliikenteen, jonka kaluston sallittu akselipaino on 22,5 tonnia, aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia jatkuvilla rakenteille. Kuormakaavio SW/0 muodostuu kahdesta erillisestä ominaisnauhakuormasta q_{vk} . Kuormakaavio sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus. Jatkuvat rakenteet mitoitetaan sekä kuormakaavioille LM71 että kuormakaavioille SW/0. Kuormakaavio SW/0 luokitellaan kuten LM71. Näin saatua luokiteltua kuormakaaviota merkitään tunnuksella SW/0-35.



Kuva B.4 Luokiteltu kuormakaavio SW/0-35

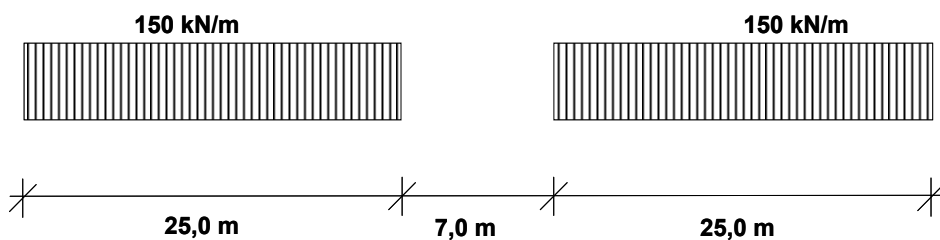
Taulukko B.7 Kaluston sallittua akselipainoa vastaavan luokitellun kuormakaavion tunnuksat jatkuvilla rakenteille sekä vastaavat staattiset nauha-kuormien arvot.

Kaluston sallittu akselipaino [kN]	Luokitellun kuormakaavion tunnus	Kerroin α	Luokitellun kuormakaavion nauha-kuorma q_v [kN/m]
350	SW/0-35	1,46	195
300	SW/0-30	1,33	177
275	SW/0-27,5	1,21	161
250	SW/0-25	1,10	146
225	SW/0-22,5	1,00	133
170	SW/0-17	0,75	100

Kuormakaavio SW/2 kuvaa levossa olevan raskaan rautatieliikenteen aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia. Kuormakaavio SW/2 muodostuu kahdesta erillisestä ominaisnauhakuormasta. Kuormakaavio sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus.

Kuormakaaviota SW/2 ei luokitella.

Kuormakaaviota SW/2 käytetään raskaan liikenteen radoilla ja sen käyttötarve ja ne rataosat, joissa kuormakaaviota SW/2 sovelletaan, esitetään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.



Kuva B.5 Kuormakaavio SW/2

B.6.3.4 Kuormakaavio "kuormittamaton juna"

Kuormakaavio "kuormittamaton juna" koostuu tasaisesti jakautuneesta kuormasta, jonka ominaisarvo q_{vk} on 10,0 kN/m ja joka voi vaikuttaa kuinka monella raiteen osapituudella tahansa.

Kuormakaaviota "kuormittamaton juna" tulee yleensä tarkastella vain mitoitettaessa rakenteita, joiden varassa on yksi raide.

Kuormakaaviota "kuormittamaton juna" ei luokitella.

B.6.3.5 Pystykuormien epäkeskisyys (kuormakaaviot 71 ja SW/0)

Kuormakaavion epäkeskisyys raiteen keskiviivaan nähden millä tahansa yhdellä raiteella on ± 88 mm. Väsytyksimitoituksessa tätä epäkeskisyyttä ei tarvitse ottaa huomioon.

Raiteen sijainnin toleranssiksi oletetaan ± 120 mm. Useamman raiteen sillalla raiteet sijoitetaan epäedullisimmalla tavalla.

Ratapiha-alueilla ja muualla, missä on varauduttava raiteiston aseman muutoksiin, rautatiesillat tulee suunnitella niin, että muutokset ovat mahdollisia ja että rautatiekuorma voi sijaita sillan myöhemmällä levennyksellä ja vanhan ja uuden rakenteen välisellä saumaosalla.

B.6.3.6 Akselikuormien jakautuminen kiskojen, ratapölkkyjen ja tukikerroksen välityksellä

Akselikuormasta oletetaan 50 % kuormittavan sen alla olevaa pölkkyä ja 25 % kohdistuu kummallekin tämän pölkyn viereiselle pölkylle.

Paikallisia vaikutuksia mitoitettaessa (esim. kansilaatan läpileikkautuminen) oletetaan kuormien jakaantuvan tukikerroksessa pölkyn alapinnasta alaspäin kaltevuudessa 4:1 pituus- ja poikkisuuntaan.

Rakenteen päällä olevassa yli 1,4 m korkeassa pengertäytteessä junakuorman voidaan otaksua jakautuvan "Ratatekniset ohjeet" (RATO) osassa 3.8 "Radan rakenne" esitellyllä tavalla.

Pengertä tukevien ja lähellä rataa sijaitsevien rakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon rautatieliikenteen pituus-, poikki- ja pystysuuntaiset kuormat. Laskettaessa maatukien ja tukimuurien maanpaineita sekä kyseisten rakenteiden perustusten päällä olevia liikennekuormia luokitellun junakuorman voidaan otaksua jakautuvan

3,0 m leveäksi tasaiseksi kuormaksi 500 mm syvyydellä korkeusviivasta. Tällöin ei kuorman dynaamista suurennuskerrointa tarvitse ottaa huomioon.

B.6.3.7 Yleisöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat

Huoltokäytävät mitoitetaan erikseen tasan jakautuneelle pystysuuntaiselle kuormalle, jonka ominaisarvo on 5 kN/m^2 , ja pistekuormalle 2,0 kN, joka on jakautunut tasan $200 \times 200 \text{ mm}^2$ alueelle.

Tarkastuskäytävän, joka sijaitsee sillan kannen alla ja jonne ei ole pääsyä matkustajien poistuessa junasta sillalle hätätilanteessa, voidaan käyttää tasaisena kuormana 4 kN/m^2 .

B.6.3.8 Laiturialueen kuormat

Silloilla, joilla on rautatieliikenteen laiturit, tulee laiturialueen kuormat huomioida sekä yhdistellä liikennekuormien ja muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien kanssa. Laiturirakenteiden omanpainon lisäksi käytetään pintakuormaa 12 kN/m^2 sekä yhtä 120 kN akselia, jonka pyöräkuormien kosketuspinta-ala on $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$ ja joiden välinen etäisyys on 1,7 m. Lisäksi otetaan huomioon vaakasuora jarrukuorma 90 kN. Hankekohtaisesti niin määrättäessä voidaan laiturialueella ottaa myös huomioon pelastusajoneuvojen nostokaluston kuormat tai tieliikenteen kuormakaaviot.

Laiturialueen hyötykuormat yhdistellään muiden kuormien kanssa siten, kuin ne olisivat huoltokäytävien kuormia (liite 1B, ML). Kun laiturialueella otetaan tieliikenteen kuormakaaviot huomioon, määritetään kuormien yhdistely hankekohtaisesti.

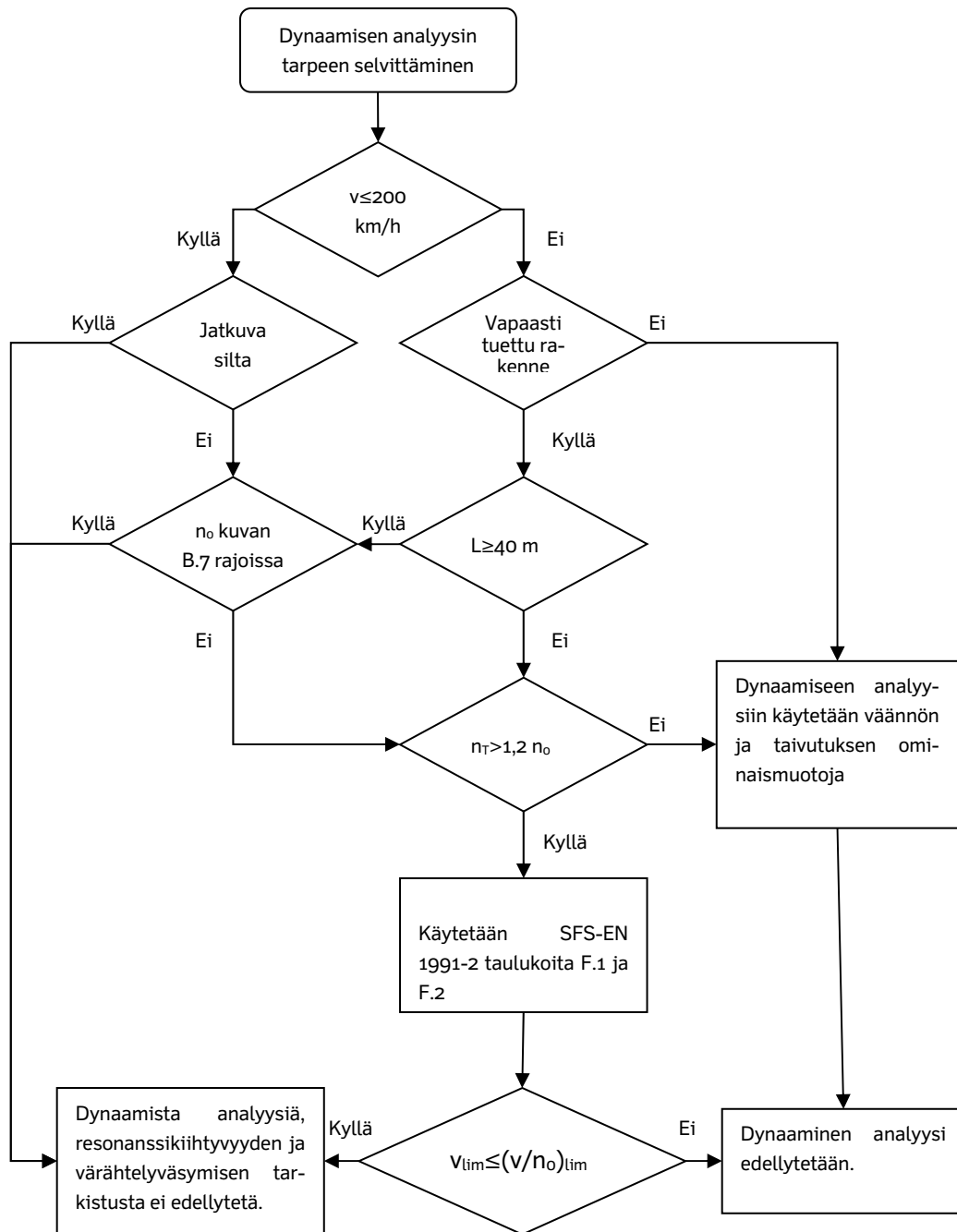
B.6.4 Dynaamiset vaikutukset (resonanssi mukaan luettuna)

Kuorman liikkumisen vaikutukset rautatieliikenteen kuormanvaikutuksiin (jännitykset, taipumat, sillan kannen kiihtyvyys jne.) tulee ottaa huomioon.

Dynaamisiin ominaisuuksiin vaikuttavat mm.:

- liikenteen nopeus
- rakenneosan jännemitta L
- rakenteen massa
- rakenteen ominaistajuudet ja ominaismuodot
- akseleiden lukumäärä, akselikuormat ja akselivälit
- rakenteen vaimennus
- raiteen epäsäännöllisyydet
- liikennevälineen massa ja ripustusominaisuudet
- kansirakenne tai radan päällysrakenne
- liikennevälineen epätarkkuudet

Vaatimukset, joiden perusteella selvitetään, edellytetäänkö staattinen vai dynaaminen analyysi, esitetään kuvassa B.6.



Kuva B.6 Dynaamisen analyysin tarpeen määrittäminen

Tavanomaiset rautatiesillat tulee lähtökohtaisesti suunnitella siten, ettei dynaamista analyysiä eikä resonanssikihtyvyyden ja värähtelystä johtuvaa väsymisen tarkistusta tarvita. Tavanomaisista poikkeavissa silloissa suunnitteluperusteet tulee sopia hankkohtaisesti asianomaisen viranomaisen kanssa.

Kuvassa B.6

- V on suurin sillan kohdalla sallittu nopeus [km/h]
 L on jännemitta [m]
 n_o on pysyvien kuormien kuormittaman sillan alin ominaistaajuus taivutuksessa [Hz]
 n_T on pysyvien kuormien kuormittaman sillan alin ominaistaajuus väännössä [Hz]
 v_{lim} on suurin nimellinopeus [m/s]
 $(v/n_o)_{lim}$ esitetään SFS-EN 1991-2 liitteessä F.

Ominaistaajuuden n_o ylärajan määräävät raiteen epäsäännöllisyyksistä johtuvat dynaamiset lisävaikutukset, ja se saadaan kaavasta:

$$n_o = 94,76 \cdot L^{-0,748} \quad (\text{B.6})$$

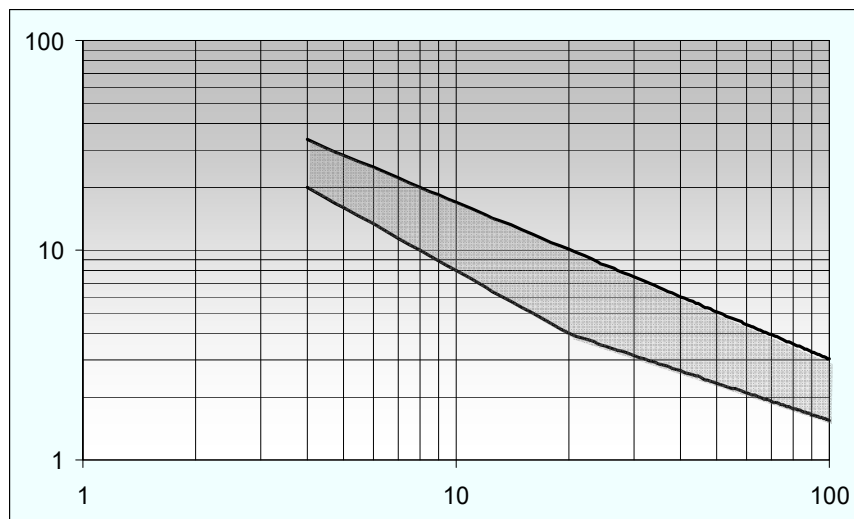
Ominaistaajuuden n_o alarajan määräävät dynaamiset sysäyskriteerit, ja se saadaan kaavasta:

$$n_o = \begin{cases} 80/L & , \text{ kun } 4 \text{ m} \leq L \leq 20 \text{ m} \\ 23,58 \cdot L^{-0,592} & , \text{ kun } 20 \text{ m} \leq L \leq 100 \text{ m} \end{cases} \quad (\text{B.7})$$

missä:

n_o on sillan alin ominaistaajuus, kun otetaan huomioon pysyviä kuormia vastaava massa ja

L on vapaasti tuetun sillan jännemitta tai L_Φ muuntityypisillä silloilla.



Kuva B.7

Sillan ominaistaajuuden n_o [Hz] (pystyakseli) rajat jännemitan L [m] (vaaka-akseli) funktiona. Tummennettuna alue, jolla ei tarvitse suorittaa dynaamista analyysia.

B.6.4.5 Dynaaminen suurennuskerroin Φ (Φ_2 , Φ_3)

Junakuorman dynaaminen suurennuskerroin kuvaa liikkuvan junan sysäysten aiheuttamia pystysuoran ominaiskuorman lisäyksiä. Sysäysten vaikutus kuormakaavioihin LM71, SW/0 ja SW/2 saadaan kertomalla kuormakaavio dynaamisella suurennuskertoimella Φ_1 tai Φ_2 .

Uudet sillat mitoitetaan huolellisesti kunnossapidetyn radan dynaamiselle suurennuskertoimelle Φ_2 .

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 \quad (\text{B.8})$$

Sysäyskerroimen raja-arvot ovat:

$$1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$$

Sysäyskerroimen laskennassa käytettävä jännemitta L_Φ on esitetty SFS-EN 1991-2 taulukossa 6.2.

SFS-EN 1991-2 taulukon 6.2 tapauksissa 1.4, 2.3, 3.4, ja 4.6 voidaan käyttää suositusarvosta poiketen arvoa Φ_2 . Hankekohtaisesti voidaan määrätä Φ_3 käytettäväksi.

Kerroin Φ_3 saadaan kaavasta:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73 \quad (\text{B.9})$$

Sysäyskerroimen raja-arvot ovat:

$$1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Rautatieliikenteen kuormittamat kansilaatan pituussuuntaiset enintään 0,5 m pituiset ulokkeet ja pääkannattimen siirtymälaatalle varustetut enintään 2,5 m pituiset ulokkeet mitoitetaan dynaamiselle suurennuskertoimelle $\Phi_3 = 2,00$.

Rautatieliikenteen kuormittamat kansilaatan yli 0,50 m pitkät ja pääkannattimen yli 2,5 m pitkät pituussuuntaiset siirtymälaatalle varustetut ulokkeet edellyttävät erityis-tarkastelua SFS-EN 1991-2 kohdan 6.4.6 mukaisesti käyttäen kuormia, joista sovitaan asianomaisen viranomaisen kanssa.

Kun siltarakenteen päällä on peitettä h (rakenteen yläpinnan ja pölkyn yläpinnan välinen mitta) enemmän kuin 1 m, sysäyskerrointa voidaan pienentää seuraavalla kaavalla.

$$\Phi_r = \Phi_2 - \frac{h - 1,00}{10} \geq 1,0 \quad (\text{B.10})$$

Teräsputkisilloilla voidaan L_Φ :n arvona käyttää putkisillan vapaata aukkoa.

B.6.5 Vaakasuuntaisten kuormien ominaisarvot**B.6.5.1 Keskipakokuormat**

Junakuorman keskipakokuorma kuvaa kaarteessa liikkuvan junan aiheuttamia poikittaissuuntaisia ominaiskuormia. Keskipakokuorma vaikuttaa 2 m korkeudella kiskon selästä. Keskipakokuorma F on rakennetta kuormittavan, luokitellusta kuormakaaviosta LM71-35 lasketun, pystykuorman P (kN) (ilman sysäyslisää Φ_2), kaarresäteen R (m) ja sillan kohdalla sallitun nopeuden v (m/s) funktio.

$$F = P \cdot \frac{v^2}{9,81 \cdot R} \quad (\text{B.11})$$

Kuormakaavioiden LM71 ja SW/O yhteydessä käytettävä vähennyskerroin f yli 120 km/h sallitulle nopeudelle saadaan SFS-EN 1991-2 kohdan 6.5.1. kaavasta 6.19, taulukosta 6.7 tai kuvasta 6.16.

B.6.5.2 Sivusysäyskuorma

Junakuorman sivusuuntainen lisäkuorma kuvaa liikkuvan junan sivusuuntaisten sysäysten aiheuttamat ominaiskuormat. Sivusysäyskuorman ominaiskuorman suuruus on 100 kN.

Sivusysäyskuorma luokitellaan. Luokiteltu sivusysäyskuorma on 146 kN ($\alpha = 1,46$).

Sivusysäyskuorman oletetaan vaikuttavan siltaan missä kohtaa tahansa korkeusviivan tasolla.

B.6.5.3 Vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvat kuormat

Veto- ja jarrukuormat vaikuttavat kiskon selän korkeudella ja kuvaavat liikkuvan kauston aiheuttamia pituussuuntaisia ominaiskuormia.

Ominaisvetokuorma:

$$Q_{lak} = 33[kN/m] \cdot L_{a,b}[m] \leq 1000kN \quad (\text{B.12})$$

Ominaisjarrukuorma:

$$Q_{lbk} = 20[kN/m] \cdot L_{a,b}[m] \leq 6000kN \quad (\text{B.13})$$

joissa $L_{a,b}$ on veto- ja jarrukuormien tarkasteltavan rakenneosan tarkastelupituus, jolla veto- tai jarrukuorman oletetaan vaikuttavan tasaisesti jakautuneena. Silloilla, joilla on vähintään kaksi raidetta, tulee kahdelle raiteelle asettaa vaikuttamaan veto- tai jarrukuorma. Toisen raiteen ominaisjarrukuorma voidaan rajoittaa arvoon 1000 kN.

Sillan veto- ja jarrukuormat luokitellaan. Luokiteltujen veto- ja jarrukuormien suurimmat arvot, kun $\alpha = 1,46$, ovat $Q_{la,max} = 1460$ [kN] ja $Q_{lb,max} = 8760$ [kN].

Hankekohtaisesti voidaan määritellä lisävaatimukset henkilöliikenneraiteille ja yli 300 m pitkille silloille.

Veto- ja jarrukuormia ei tarkastella kuormakaavion "kuormittamaton juna" yhteydessä.

Sillan ja raiteen yhteistoiminnan kautta osa veto- ja jarrukuormista kulkeutuu penkereeseen sillan ulkopuolelle riippuen sillan rakenteesta, kiskotuksesta (jatkuvakiskoraide, pitkäkiskoraide, lyhytkiskoraide, kiskonliikuntalaite) ja liikkuvan kaluston ominaisuuksista.

Veto- ja jarrukuormien jakautuminen raiteen ja rakenteiden kesken lasketaan ottamalla sillan ja raiteen yhteistoiminta huomioon (ks. B.6.5.4 ja SFS-EN 1991-2 kohta 6.5.4).

Veto- ja jarrukuormien jakautuminen raiteen ja rakenteiden kesken voidaan laskea myös oheisella yksinkertaistetulla tavalla (tällöin $L_{a,b}$ = sillan pituus):

Sillalla, jossa on tukikerros ja jatkuvakiskoraide, voidaan vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvien kuormien ominaisarvoja vähentää 50 %, kuitenkin enintään 600 kN. Sillalla, jonka vain toisessa päässä on kiskonliikuntalaite, voidaan näiden kuormien ominaisarvoja vähentää vastavasti 25 %, kuitenkin enintään 300 kN. Tällöin sillan ominaisveto- ja ominaisjarrukuormat vähennyksineen kerrotaan kertoimella luokittelukertoimella α .

Vapaasti tuetulla sillalla, jossa on tukikerros ja jatkuvakiskoraide ja jonka siltakannen pituus on alle 10,0 m, ei veto- ja jarrukuormia tarvitse ottaa sillan päällysrakenteen laskelmissa huomioon.

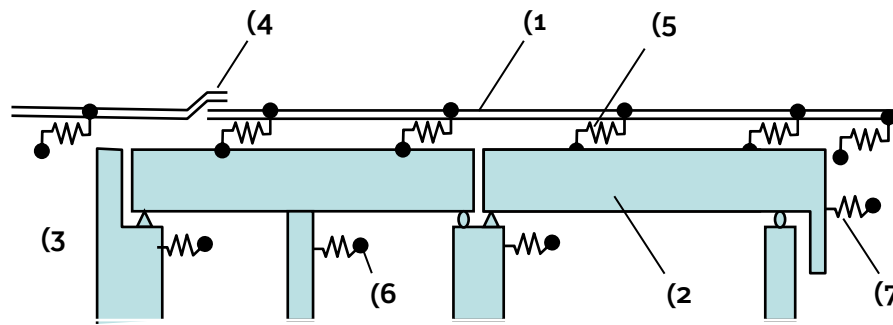
Standardin EN1991-2 kohdan 6.5.4.5.1 (1) mukaisissa raiteen sallituissa lisäjännityksissä ei tarvitse ottaa huomioon lämpötilakuormia, mikäli jatkuvakiskoraiteet ovat tukikerroksisella sillalla ankkuroitu asianmukaisesti.

Siltajonon yksittäisen siltalohkon pituussuuntainen veto- ja jarrukuorma voidaan määrittää prosenttiosuutena koko siltajonolle tulevasta veto- ja jarrukuormasta.

Radoilla, jotka välittävät erikoisliikennettä (esim. henkilöliikenneradat), veto- ja jarrukuormina voidaan käyttää 25 % "todellisen junan" niiden akselikuormien summasta, jotka vaikuttavat kussakin tarkasteltavassa kuormitustapauksessa, ominaisvetokuorman enimmäisarvon ollessa 1000 kN ja ominaisjarrukuorman enimmäisarvon ollessa 6000 kN. Luokitellut veto- ja jarrukuormat saadaan käyttämällä kaluston sallittua akselipainoa vastaavaa α -kerrointa ($\alpha \geq 1$). Erikoisliikennettä välittävät radat ja niihin liittyvät kuormituksen yksityiskohdat mukaan lukien muu radalle sallittu liikenne, esim. raiteen kunnossapitoon ym. käytettävät junat, määritellään hankekohtaisesti.

B.6.5.4 Muuttuvista kuormista syntyvä raiteen ja siltarakenteen yhteisvaste muuttuville kuormille

Sillan ja raiteen välinen yhteistoiminta voidaan mallintaa alla olevaa kuvaa soveltaen kuormanvaikutusten määrittämiseksi.

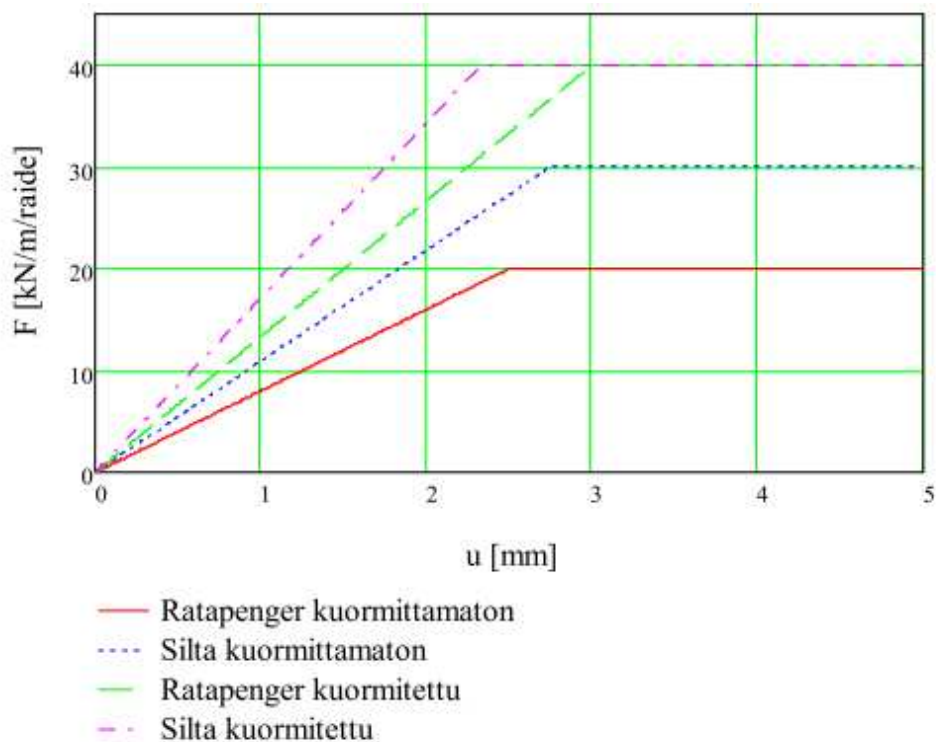


- (1) raide
- (2) päällysrakenne (koostuen kahdesta lohkoista)
- (3) penkere
- (4) mahdollinen kiskonliikuntalaite
- (5) pituussuuntainen bi-lineaarinen jousi, joka kuvaa kiskoon vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä
- (6) pituussuuntainen jousi, joka kuvaa sillan alusrakenteeseen vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä
- (7) pituussuuntainen bi-lineaarinen jousi, joka kuvaa siltakannen päähän vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä

Kuva B.8

Pysty- ja poikkisuuntaisten kuormien ja siirtymien välistä yhteyttä voidaan kuvata jousilla kuvan B.8 mukaisesti.

Kuvassa B.9 on esitetty kiskon ja maan välisen pituussuuntaisen yhteistoiminnan bi-lineaarinen siirtymän ja voiman välinen yhteys.



Kuva B.9

Kiskon ja maan välinen pituussuuntainen yhteistoiminta

B.6.7 Suistumiskuormat ja muut rautatiesiltojen kuormat

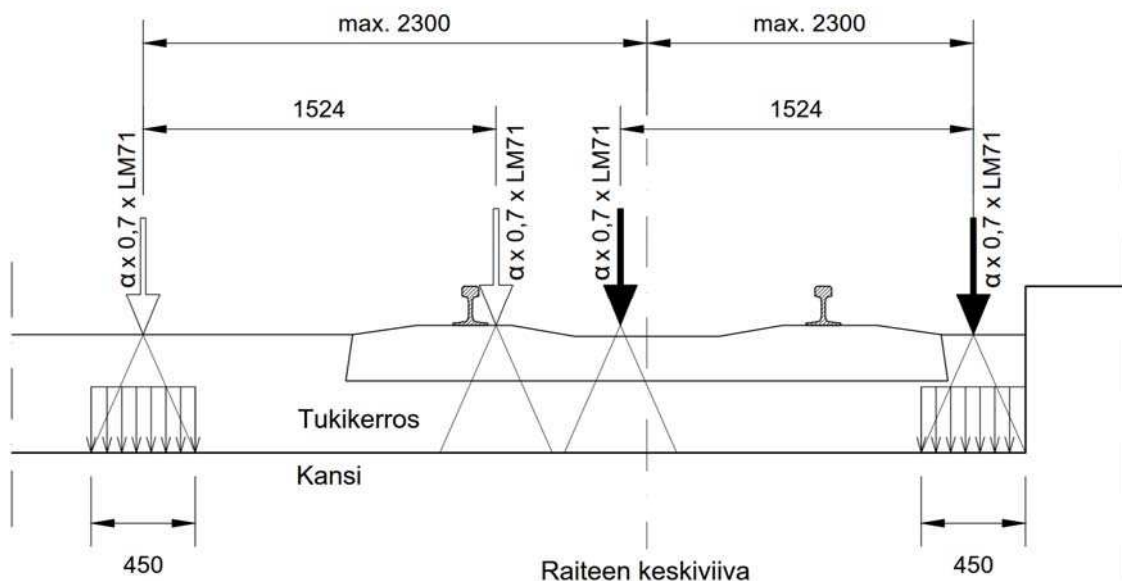
B.6.7.1 Rautatiesiltään kohdistuvat junan suistumiskuormat

Rautatiesillat mitoitetaan kahdelle suistumistilanteelle. Suistumistilanteessa käytettävä rautatieliikenteen pystykuorma on $1,4 \times \alpha \times LM71$, joka sijoitetaan siltakannelle leveyssuunnassa kahdella eri tavalla.

Onnettomuustilanne I

Juna suistuu, mutta viereinen kisko tai kannen rakenne estää junaa etääntymästä raiteesta (ks. kuva B.10).

Mitoituskuorma onnettomuustilanteessa I on $1,4 \times \alpha \times LM71$ (otetaan huomioon kuorma LM71 kokonaisuudessaan). Kuorma jakautuu raiteen suuntaisesti kahdeksi pyöräkuormaksi kuvan B.10 mukaisesti. Kuorma voi olla enintään 2,3 m raiteen keskiviivan kummalla tahansa puolella (ulompi pyöräkuormarivi 2,3 m raiteen keskiviivasta ja sisempi 0,8 m keskiviivasta). Tukikerroksellisessa sillassa pistekuorma voidaan kohdistaa kannella $450 \times 450 \text{ mm}^2$ alueelle ja tasaisesti jakautunut kuorma 450 mm leveydelle.

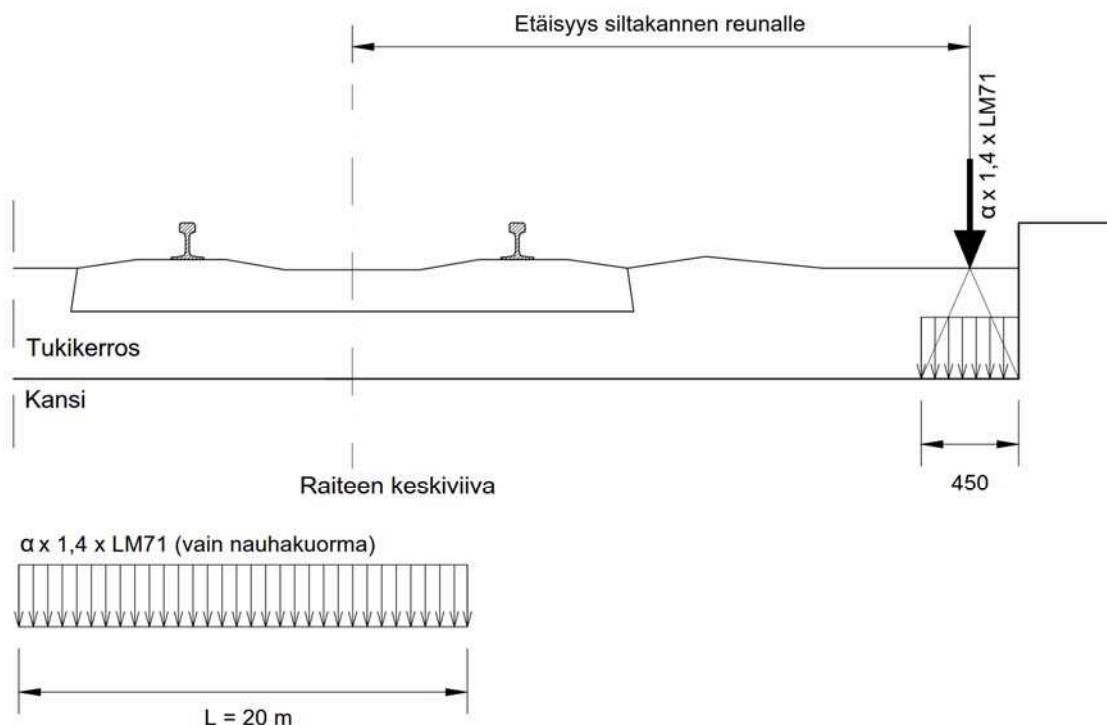


Kuva B.10 Junan suistumisen onnettomuustilanne I

Onnettomuustilanne II

Juna suistuu ja kuormittaa sillan reunaa, ei kuitenkaan sekundaarisia rakenteita kuten huoltokäytäviä (ks. kuva B.11).

Mitoituskuorma onnettomuustilanteessa II on $1,4 \times \alpha \times LM71$ (otetaan huomioon vain LM71:n nauhakuorma). Kuorma jakautuu yhdeksi pyöräkuormaksi 20 m kokonaispituudelle. Tukikerroksellisessa sillassa kuorma voidaan kohdistaa kannella 450 mm levyiselle alueelle. Onnettomuustilannetta II käytetään tarkasteltaessa rakenteen murtolujuutta tai vakavuutta jäykkänä rakenteena.



Kuva B.11 Junan suistumisen mitoitustilanne II

Onnettomuustilanteet I ja II eivät vaikuta samanaikaisesti. Onnettomuustilanteissa silta ei saa sortua, mutta paikallinen vaurio sallitaan. Onnettomuustilanteessa II silta ei saa myöskään kaatua kokonaisena. Paikallisen vaurion tapauksessa pyörä saa lävistää kannen, mutta juna ei saa pudota sillalta.

Kiskoilta suistunut juna voidaan pysäyttää rakenneosilla, jotka mitoitetaan onnettomuustilanteessa vallitsevalle vaakakuormalle ja jotka ovat riittävän korkeita pysäyttämään junan. Vaakakuorman suuruudeksi voidaan otaksua 20 % onnettomuustilanteen pystykuormasta.

Vaativuudet suojakiskojen käyttöön on annettu Ratatekniset ohjeet (RATO) osassa 8. Uusilla rautatiesilloilla suojakiskojen käytöstä huolimatta onnettomuustilanteet I ja II sekä vaakakuorma tulee ottaa päällysrakenteen mitoituksessa huomioon täysimääräisinä, jollei hankekohtaisesti päätetä toisin. Suojakiskot eivät myöskään vaikuta suistumiskuormien sijaintiin sillan kannella.

B.6.7.2 Junan suistuessa rakenteen alapuolella tai vieressä ja muut onnettomuusmitoitustilanteissa syntyvät kuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän soveltamisohjeen osiossa F.

B.6.7.3 Muut kuormat

Lämpötilavaihtelun vaikutus kiskoissa tulee ottaa huomioon sillalla, joka on kaarteissa ja jossa on jatkuvakiskoraide ilman kiskonliikuntalaitteita. Tämän kuorman voidaan otaksua olevan ± 1000 kN/raide ja vaikuttavan raiteen suunnassa.

Raiteen ankkuroinnin aiheuttamat kuormitukset tulee ottaa huomioon.

Rakenteisiin kohdistuvat varusteiden ja laitteiden (mm. sähköradan rakenteet) aiheuttamat kuormitukset tulee ottaa huomioon.

B.6.8 Rautatiesiltojen kuormittaminen liikennekuormilla

Rakenne tulee suunnitella raiteiden määrän ja sijainnin perusteella ottaen huomioon sijaintitoleranssit. Raiteiden sijainti ja toleranssit voidaan määritellä myös hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa. Pystykuormien epäkeskisyys käsitellään kappaaleen B.6.3.5 mukaan.

Kuormakaavio LM-71 vaikuttaa täydellä arvolla korkeintaan kahdella raiteella. Mikäli rakenteen varassa on enemmän kuin kaksi raidetta, tarkastetaan rakenne myös tapaukselle, jossa kaikki raiteet on kuormitettu $0,75 \cdot LM-71$.

Jatkuvat sillat tulee kuormakaavion LM71 lisäksi tarkistaa käyttäen kuormakaaviota SW/o.

Kuormakaavio SW/o vaikuttaa täydellä arvolla korkeintaan kahdella raiteella. Mikäli rakenteen varassa on enemmän kuin kaksi raidetta, tarkastetaan rakenne myös tapaukselle, jossa kaikki raiteet on kuormitettu $0,75 \cdot SW/o$.

Kuormakaaviosta SW/2 aiheutuvien epäedullisimpien kuormanvaikutusten määrittämistä varten tulee rakenteen kuormaksi asettaa:

- SW/2 vaikuttamaan yhdelle raiteelle, kun rakenteen varassa on vain yksi raide
- SW/2 vaikuttamaan yhdelle raiteelle ja LM71 tai SW/o toiselle raiteelle, kun rakenteen varassa on vähintään kaksi raidetta.

Jos dynaaminen analyysi edellytetään, tulee siltojen mitoitus tarkistaa tarvittaessa myös kuormakaavion "todellinen juna" ja kuormakaavion HSLM aiheuttamaa kuormitusta käyttäen.

Siirtymätilaa ja värähtelyä tarkistettaessa tulee pystykuormituksena käyttää kuormakaavioita:

- LM71 ja lisäksi jatkuvilla rakenteilla SW/o

sekä hankekohtaisesti niin määrättäessä

- SW/2
- HSLM
- "todellinen juna"

Sillan kannen siirtymä- ja värähtelyrajoja tarkistettaessa raiteita kuormitetaan siten, että kaikki raiteisiin liittyvät asianmukaiset liikennekuormat otetaan mukaan luokituina.

Taulukko B.8 Siirtymä- ja värähtelyrajojen tarkistusta varten kuormitettavien raiteiden lukumäärä

Rajatilakriteerit ja muut hyväksyntäkriteerit	Raiteiden määrä sillalla		
	1	2	≥ 3
Liikenteen turvallisuuden tarkistukset:			
Kannen vääntymä (twist) (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.2)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Kannen pystytaipuma raiteen kohdalla (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.3)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Kannen poikittainen muodonmuutos (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.4)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Sillan ja raiteen yhteisvaste muuttuvien kuormien vaikuttaessa, mukaan lukien kannen pään pystysuuntainen ja pituussuuntainen siirtymä (SFS-EN 1991-2 kohta 6.5.4)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 ^{a)}
Kannen pystysuuntainen kiihtyvyys (SFS-EN 1991-2 kohta 6.4.6 ja SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.1)	1	1	1
Käyttöraajatilatarkistukset:			
Matkustajamukavuuskriteerit (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.3)	1	1	1
Murtorajatilatarkastelut			
Nousu laakereilta (EN1990 kohta A2.4.4.1(2)P)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}

^{a)} valitaan epäedullisin^{b)} kuormitettavien raiteiden määrä valitaan taulukon B.10 mukaan

Matkustajamukavuuskriteerit			
SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.3.2 Taipuman raja-arvo: $\delta = L/k$ Muut k:n arvot interpoloidaan	k=1000, $L \leq 15m$ d) k=1525, $L=37m$ d) k=600, $L \geq 90m$ d)	k=1400, $L \leq 25m$ d) k=2300, $L=56m$ d) k=1150, $L=120m$ d)	$\Phi \times \alpha \times LM71$ [F, a = 1] Yksi raide kuormitettuna
Nousu laakereilta			
Murtorajatilatarkastelut (EN1990 kohta A2.4.4.1(2)P)	Rakenteen kestävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Rakenteen kestävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Murtorajatilayhdistelyt 6.10a ja 6.10b
Käyttöraajatilatarkastelut	Laakeri ei saa mennä vedolle.	Laakeri ei saa mennä vedolle.	Ominaisyhdistelyt 6.14
Onnettomuusrajatilatarkastelut	Rakenteen kestävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Rakenteen kestävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Onnettomuusrajatilayhdistelyt 6.11

a) moniaukkoisilla ei-jatkuvilla silloilla taipuman raja-arvot ovat $L^2/76000$, kun $v \leq 200 \text{ km/h}$ ja $L^2/140000$, kun $v > 200 \text{ km/h}$. Jännemitan L yksikkönä käytetään metriä.

b) 30 mm yksinkertaistetulla laskentamallilla tarkasteltaessa, kun kansirakenteen molemmissa päissä on kiskonliikuntalaite ja tukikerros on jatkuva kannen päissä. 30 mm ylittävät siirtymät tulee sallia vain, kun käytetään tukikerroksen katkaisulaitetta ja kiskonliikuntalaitetta.

c) annettu arvo on voimassa, kun raiteen ja siltarakenteen yhteistoiminta otetaan huomioon (ja kansirakennetta kohti on korkeintaan yksi kiskonliikuntalaite). Arvo on 10 mm, kun raiteen ja siltarakenteen yhteistoiminta jätetään huomiotta.

b) + c) Yhteenlaskettu arvo ei saa ylittää 13 mm, kun ei käytetä kiskonliikuntalaitetta.

d) annetut arvot ovat ei-jatkuvalle 3- tai useampijänteiselle sillalle (Taipumarajat vastaavat kannen pystykiihtyvyyden 1 m/s^2 mukavuustasoa, hankekohtaisesti voidaan käyttää alemmaa mukavuustasoa),

1- tai 2-jänteisellä ei-jatkuvalle sillalla tai jatkuvalla 2-jänteisellä sillalla k:n arvot voidaan jakaa 0,7:llä (esim. $L/1000 \rightarrow L/700$)

3- tai useampijänteisellä jatkuvalla sillalla k:n arvot voidaan jakaa 0,9:llä, yli 120m pitkällä jännemitoilla on tehtävä erillinen analyysi

Ratapihoilla ja paikoissa, joissa liikkuva kalusto voi olla pysäköitynä rakenteelle pidemmäksi aikaa, tulee kuormituksen vaikutus rakenteen kuivatukseen ottaa huomioon.

Radan ylittävän sillan tai muun vastaavan rakenteen tulee täyttää aukean tilan ulottuman vaatimukset myös siirtyneessä tilassaan.

Taulukossa B.10 on esitetty rautatieliikenteen kuormien (pystykuormat ja rautatieliikenteestä aiheutuvat vaakakuormat) mahdollisesti mitoittavat kombinaatiot yhtä raidekohden. Liikennekuorman komponentit yhdistellään esitettyjen kertoimien mukaan siten, että saadaan aikaan kuormituksen vaarallisin vaikutus tarkasteltavalle rakenneosalle. Liikenteen vaakakuorman komponentti ei voi esiintyä ilman liikenteen pystysuoraa komponenttia. Vaakakuormien ominaisarvo lasketaan täyden pystykuorman arvolla.

Eurokoodin soveltamisohje
Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)

Taulukko B.10 Liikennekuorman pysty- ja vaakakomponenttien yhdistäminen

Kuorma-ryhmä	Kuormitetut raiteet	Pystykuormat		Pituussuuntaiset vaakakuormat (jarru- ja veto-kuorma)		Poikkisuuntaiset vaakakuormat (sivusysäys ja keskipakokuorma)	
		min	max	min	max	min	max
Suurin pituussuuntainen kuorma (LM71 tai SW/o)	1...2	0,5	1,0	0	1,0	0	0,5
Suurin poikkisuuntainen kuorma (LM71 tai SW/o)	1...2	0,5	1,0	0	0,5	0	1,0
Useampi-raiteinen silta (LM71 tai SW/o)	≥3	0,5	0,75	0	0,75	0	0,75
Kuormittamaton juna	1	1,0	1,0	0	0	0	1,0

Rautatieliikenteen kuormat yhdistellään muiden kuormien kanssa. Rautatiesiltojen yhdistelykertoimet (γ_0 , γ_1 ja γ_2) esitetään taulukossa G.3 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G.4...G.8. Tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 on esitetty sillansuunnittelussa käytettävät kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

Rautatieliikennettä tukevat tilapäiset rakenteet mitoitetaan kuten pysyvät rakenteet. Tilapäiset rakenteet voidaan mitoittaa käyttäen niitä kuormittavaa "todellista junaa" vastaavia kuormia.

B.6.9 Väsyttävät liikennekuormat

Väsymistarkastelu tulee suorittaa kaikille kantaville osille, joissa jännitys vaihtelee.

Väsyminen selvitetään normaalin liikenteen tapauksessa, joka perustuu kuorma-kaavion LM71 ominaisarvoihin ($\alpha = 1$), dynaaminen suurennuskerroin Φ_2 mukaan luetuna, käyttämällä perusteena sekaliikennetyyppejä "vakioliikenne", "liikenne 250 kN akselein" tai "kevyt sekaliikenne" siitä riippuen, kuormittaako rakennetta sekaliikenne, ensisijaisesti raskas tavaraliikenne vai kevyt henkilöliikenne rakenteelle määritettyjen vaatimusten mukaisesti. Rataosien väsymismitoituksessa käytettävän liikenteen tyyppi valitaan kuvan H.11 perusteella. SFS-EN 1991-2 liitteessä D esitetään tarkastelussa käytettyjä junia ja sekaliikennetyyppejä sekä käytettävää dynaamista lisävaikutusta koskevia tietoja. Vaatimukset voidaan määritellä hankekohtaisesti.

Jokainen oletettu sekaliikennetyyppi perustuu sillan jokaisen raiteen vuodessa ylittävään liikenteen määrään 25×10^6 tonnia. Väsymismitoituksessa käytettävä raidekohmainen liikennemäärä tulee määrittää rataosalle arvioidun liikennemäärän perusteella, jossa on huomioitu rataosan liikennemäärän kasvu sillan laskennallisen käyttöiän aikana. Rakenteille, joiden varassa on useita raiteita, väsyttävä kuormitus tulee asettaa vaikuttamaan enintään kahdelle raiteelle epäedullisimpiin paikkoihin.

Väsymisen aiheuttama vaurioituminen määritetään rakenteen suunnitellun käyttöiän ajaksi.

Dynaamisen analyysin edellyttämissä kohteissa tulee värähtelyn vaikutus ottaa huomioon väsytystarkastelussa.

Väsymistarkastelussa otetaan huomioon rautatieliikenteen aiheuttamat pystykuormat dynaamisine vaikutuksineen sekä keskipakokuormat. Yleensä sivusysäyskuormat ja pituussuuntaiset liikennekuormat voidaan väsymistarkastelussa jättää huomiotta.

Joissakin erityistilanteissa, esim. sillan tukiessa pääteasemien raiteita, pituussuuntaisten kuormien vaikutus otetaan erikseen huomioon väsymistarkastelussa.

C Tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-4 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

Tässä soveltamisohjeessa esitetyt tuulenpaineen arvot on laskettu standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti otaksuen tuulennopeuden modifioimattomalle perusarvolle $v_{b,0}$ arvo 23 m/s.

[Huom.: tuulenpaineen laskennassa on käytetty (eurokoodin eräistä tulkinnoista poiketen) myös liikennekuorman kanssa samaan aikaan esiintyvälle tuulennopeuden modifioimattomalle perusarvolle ($v_{b,0}^*$) edellä mainittua arvoa 23 m/s.]

Esitetyjä tuulenpaineen arvoja voidaan soveltaa pienten ja keskisuurten tavanomaisen siltojen suunnittelussa, kun silta on tyypiltään standardin SFS-EN 1991-1-4 kuvan 8.1 mukainen. Mikäli tuulikuorma on merkittävä sillan suunnittelun kannalta, sillalle tehdään tarkempi tuulianalyysi. Tämän soveltamisohjeen menettelyä voidaan soveltaa myös muihin kuin standardin SFS-EN 1991-1-4 kuvan 8.1 siltatyyppeihin hankekohtaisesti niin sovittaessa. Edelleen hankekohtaisesti saatetaan vaatia erillinen dynaaminen analyysi.

Siltaan kohdistuvan poikittaisen tuulenpaineen arvo saadaan taulukosta C.1 (sama taulukko on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-4 kansallisessa liitteessä kohdassa 8.3.2(1)).

Taulukko C.1 Siltaan kohdistuva tuulen paine

Taulukko 8.2(FI). Siltaan kohdistuva tuulen paine [kN/m^2] kun tuulen nopeus on 23 m/s.

Maastoluokka	0		I		II		III		IV	
b/d_{tot}	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$
$\leq 0,5$	3,58	4,18	2,54	3,02	2,23	2,75	1,73	2,28	1,30	1,86
$\geq 4^a$	1,94	2,26	1,37	1,64	1,21	1,49	0,94	1,24	0,71	1,01
$> 5^b$	1,49	1,74	1,06	1,26	0,93	1,15	0,72	0,95	0,54	0,77

^a Koskee siltaa, jossa kaiteet ovat avoimet, ts. kaiteen projektiopinta-alasta yli 50 % on avointa.

^b Koskee siltaa, jossa on yhtä aikaan esiintyvä liikennekuorma tai kaiteet ovat suljetut (kysymyksessä on umpikaide tai kaide, jonka projektiopinta-alasta vähemmän kuin 50 % on avointa).

jossa b = siltakannen leveys
 d_{tot} = siltakannen korkeus
 z_e = siltakannen painopisteen etäisyys maan pinnasta

Siltakannella olevan tieliikenteen korkeudeksi oletetaan $d^* = 2,0$ metriä ja rautatie-liikenteen korkeudeksi $d^* = 4,0$ metriä jotka lasketaan mukaan mittaan d_{tot} . Kevyen liikenteen silloille ei otaksuta tuulikuorman vaikutuspinta-alaan vaikuttavaa liikennettä. Kun kaiteen projektiopinta-alasta on alle 50 % avointa lasketaan kaiteen korkeus mukaan mittaan d_{tot} .

Väliarvot voidaan interpoloida taulukoista. Yleensä voidaan käyttää maastoluokan II arvoja, ellei asianomainen viranomainen hankekohtaisesti toisin määrää. Suurilla silloilla ja erikoissilloilla voidaan käyttää myös muita arvoja asianomaisen viranomaisen

hankekohtaisesti niin määrätessä. Tuulikuormat vinoköysi- ja riippusiltöjen sekä kaa-ri- ja vastaavien siltöjen eri rakenneosiin on määräteltävä hankekohtaisesti.

Sillan pituussuuntaiset tuulikuormat ovat palkki- ja laattasilloilla 25 % poikittaisista tuulikuormista ja ristikkosilloilla 50 % poikittaisista tuulikuormista ellei hankekohtaisesti muuten määrätä.

Pystysuuntaiset tuulikuormat voidaan määrätellä standardin SFS-EN 1991-1-4 kohdan 8.3.3 mukaan

Mikäli tuulikuorma sillan pilareihin on merkittävä sillan suunnittelun kannalta, otetaan kuorma huomioon standardin SFS-EN 1991-1-4 kappaleen 8.4 ja siihen liittyvän kansallisen liitteen mukaisesti (tuulenpaine saadaan kansallisen liitteen taulukoista 8.4a(FI) ja 8.4b(FI) ellei hankekohtaisesti sovita muuta menettelyä).

Poikittaisen tuulikuorman vaikutusalaa $A_{ref,x}$ laskettaessa käytettävä siltakannen korkeus saadaan taulukosta C.2 (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-4 kuva 8.5 ja taulukko 8.1).

Taulukko C.2 Siltakannen korkeuden määritys

	toisella puolella	molemmilla puolin
Avoin kaide (> 50% avoin):	$d + 0,3$ [m]	$d + 0,6$ [m]
Umpikaide:	$d + d_1$ [m]	$d + 2 \times d_1$ [m]
Liikenteen kanssa:	$d + d^*$ [m]	

d = siltakannen korkeus, d_1 = umpikaiteen korkeus, d^* = liikenteen korkeus

Silloissa, joissa pääkannattimet ovat pinnaltaan yhtenäisiä, huomioidaan tuulen vaikutusalaan valmiissa rakenteessa sillan sivuprojektioala ja rakentamisen aikana kahden pääkannattimen sivuprojektioala. Ristikkorakenteilla tuulen vaikutusalaan huomioidaan jokaisen peräkkäisen ristikon umpinaisten osien sivuprojektioala.

Kevytrakenteisilla tai katetuilla silloilla on lisäksi otettava huomioon tuulen aiheuttama noste.

Tuulikuorman yhdistelykertoimet (γ_0 , γ_1 ja γ_2) esitetään tämän soveltamisohjeen taulukoissa G.1 (tieliikenteen silloille), G.2 (kevyen liikenteen silloille) ja G.3 (rautatieliikenteen silloille).

Tuulikuorma yhdistellään muiden kuormien kanssa taulukoiden G.4...G.8 mukaisesti.

D Lämpötilakuormat (SFS-EN 1991-1-5)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-5 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

D.6.1 Siltojen päällysrakenteet

Siltojen päällysrakenteet ryhmitellään kolmeen ryhmään seuraavasti:

Tyyppi 1: Teräspäällysrakenne

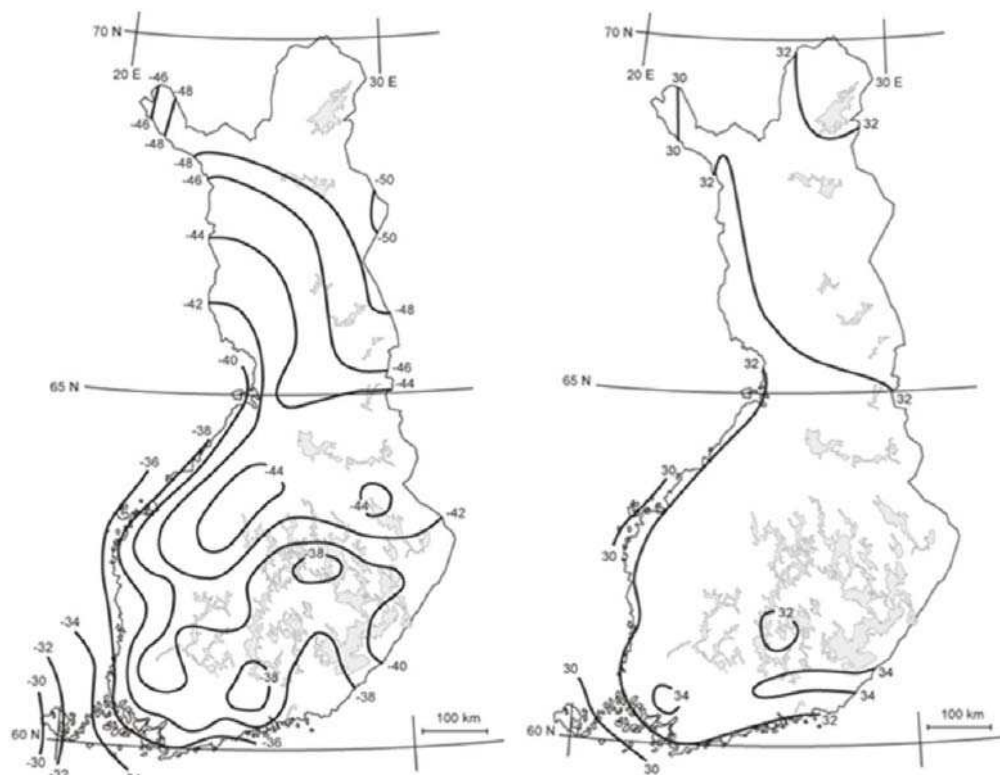
Tyyppi 2: Liittopäällysrakenne

Tyyppi 3: Betonipäällysrakenne

Eri siltatyyppien poikkileikkauksia on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-5 kuvissa 6.2a...6.2c.

Siltojen maksimilämpötiloina pidetään lämpötiloja, jotka ovat terässilloilla 16 °C, liittopalkkisilloilla 4 °C, ja betonisilloilla 2 °C lämpimämmät kuin varjossa mitatut ilman maksimilämpötilat. Vastaavasti siltojen minimilämpötilat ovat terässilloilla 3 °C alemmat ja liittopalkkisilloilla 4 °C ja betonisilloilla 8 °C ylemmät kuin ilman minimilämpötilat. Sama asia on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-5 kuvassa 6.1. Puusilloilla voidaan soveltaa betonisiltojen arvoja, ellei tarkempaa selvitystä tehdä hankekohdasta.

Lämpötilan ääriarvot Suomessa on esitetty kuvassa D.1. (samat kuvat ovat standardin SFS-EN 1991-1-5 kansallisessa liitteessä, 6.1a(FI) ja 6.1b(FI)).



Kuva D.1 Lämpötilan ääriarvot Suomessa

Sillan alkulämpötilaksi T_0 voidaan otaksua standardin SFS-EN 1991-1-5 liitteen A suositusarvo (10 °C) kun alkulämpötila ei ole ennakoitavissa, muuten valitaan arvioitu alkulämpötila.

Mikäli betonin todellinen sitoutumislämpötila aiheuttaa rakenteeseen merkittäviä siirtymiä ja/tai jännityksiä (verrattuna alkulämpötilaan T_0), tulee vaikutukset ottaa huomioon yleisesti hyväksytyillä menetelmillä.

Yleensä lämpötilaero täytyy ottaa huomioon vain pystysuunnassa. Standardissa SFS-EN 1991-1-5 esitetään pystysuuntaiselle lämpötilaerolle kaksi eri menetelmää; lineaarinen lämpötilaero sekä epälineaarinen lämpötilaero.

Yleensä voidaan käyttää lineaarista lämpötilaeroa. Standardin kuvien 6.2a...6.2c mukaisissa teräskantisissa terässilloissa, teräksisissä liittopalkkisilloissa ja vastaavan poikkileikkauksen betonisilloissa (kotelo), lineaarisen lämpötilaeron lisäksi rakenne on tarkistettava hyppäykselliselle lämpötilaerolle eri rakenneosien välillä (mitoitussarvot on esitetty jäljempänä tässä kappaleessa), ellei tarkastelua tehdä em. kuvien mukaan epälineaarisesti.

Lineaarinen pystysuuntainen lämpötilaero voidaan määrittää taulukosta D.1 (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-5 taulukko 6.1).

Taulukko D.1 Lineaariset pystysuuntaiset lämpötilaerot

Päällysrakennetyyppi:	Yläpinta lämpimämpi $\Delta T_{M,heat}$ (°C)	Alapinta lämpimämpi $\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Tyyppi 1: Teräspäällysrakenne	18	13
Tyyppi 2: Liittopäällysrakenne	15	18
Tyyppi 3: Betonipäällysrakenne		
betonikotelo	10	5
betonipalkki	15	8
betonilaatta	15	8

Taulukossa D.1 esitetyt arvot perustuvat 50 mm päällystepaksuuteen. Taulukossa D.2 on esitetty lämpötilaeron korjauskerroin k_{sur} eri päällystepaksuuksille. Väliarvot voidaan interpoloida. (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-5 taulukko 6.2).

Taulukko D.2 Lämpötilaeron korjauskerroin

Tiesillat, kevyen liikenteen sillat ja rautatiesillat: korjauskerroin k_{sur}						
Päällysteen paksuus [mm]:	Tyyppi 1		Tyyppi 2		Tyyppi 3	
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
päällystämätön:	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vesieristetty:	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
750 (tukikerros)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

Betonikotelokannattimien seinämissä oletetaan lineaarinen lämpötilaero $\pm 15^\circ\text{C}$.

Kuten päällysrakenteissa, myös välitukipilareissa käytetään yleensä lineaarista lämpötilaeroa. Vastakkaisten ulkopintojen välinen lämpötilaero on 5°C ja seinämien sisä- ja ulkopintojen välinen lämpötilaero on 15°C .

Eri rakenneosien välille syntyvän lämpötilaeron vaikutukset otetaan huomioon seuraavasti:

- $\pm 15^\circ\text{C}$ vetotangon ja kaaren välillä
- $\pm 10^\circ\text{C}$ vaaleiden riippu-/vinoköysien ja muun rakenteen välillä
- $\pm 20^\circ\text{C}$ tummien riippu-/vinoköysien ja muun rakenteen välillä
- $+20 / -5^\circ\text{C}$ terässilloilla kannen ja palkkien/kotelon välillä
- $\pm 10^\circ\text{C}$ liittopalkkisilloilla kannen ja palkkien välillä
- $\pm 5^\circ\text{C}$ betonisilloilla kannen ja palkkien/kotelon välillä

Eri rakenneosien välille syntyvän lämpötilaeron vaikutukset lisätään lämpötilan muutoksesta aiheutuviin vaikutuksiin (kuitenkin siten, että yksittäisen rakenneosan kuvan D.1 avulla määritettyä maksimi-/minimilämpötilaa ei ylitetä)

Lämpötilan muutos ja lämpötilaero yhdistellään mitoitus varten kaavoilla D.1 ja D.2 (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-5 kaavat 6.3 ja 6.4). Tätä laskettua lämpötilakuormien vaikutusta (T_k) käytetään tämän soveltamisohjeen taulukoissa G.4...G.6 ja liitteessä 1 esitetyissä kuormitusyhdistelyissä.

$$\Delta T_{M,heat} \text{ (tai } \Delta T_{M,cool}) + 0,35 \times \Delta T_{M,exp} \text{ (tai } \Delta T_{M,con}) \quad (D.1)$$

$$0,75 \times \Delta T_{M,heat} \text{ (tai } \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{M,exp} \text{ (tai } \Delta T_{M,con}) \quad (D.2)$$

E Työnaikaiset kuormat (SFS-EN 1991-1-6)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-6 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

Ellei standardissa SFS-EN 1991-1-6 tai sen siltoja koskevassa kansallisessa liitteessä ole toisin määrätty, sovelletaan seuraavia kansallisia soveltamisohjeita:

- RIL 147-2006 Tukitelineet ja muotit
- RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohjeet
- Työnaikaisten ratakaivantojen tukeminen (Ratahallintokeskuksen julkaisu A10/2001)
- TIEH 2000023-v-08 Siltojen tukitelineet – 2007
- Eurokoodin soveltamisohje NCCI 4 - Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu.

F Onnettomuuskuormat (SFS-EN 1991-1-7)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-7 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

F.3 Mitoitustilanteet

Standardissa SFS-EN 1990 rakenteet on jaettu kolmeen seuraamusluokkaan CC1, CC2 ja CC3 (CC = Consequence Class) alla olevan taulukon mukaisesti.

Taulukko F.1 Seuraamusluokat

Seuraamusluokka	Kuvaus
CC3	Suuret seuraamukset
CC2	Keskisuuret seuraamukset
CC1	Pienet seuraamukset

(vrt. täydellinen taulukko B1 standardissa SFS-EN 1990)

Seuraamusluokkiin CC1, CC2 ja CC3 on edelleen liitetty (ks. kappale B3.2 standardissa SFS-EN 1990) kolme luotettavuusluokkaa RC1, RC2 ja RC3 (RC = Reliability Class). Kullekin luotettavuusluokalle on standardissa suositeltu tietty vähimmäisluotettavuus (käyttäen luotettavuusindeksiä β).

Taulukko F.2 Luotettavuusluokat

Luotettavuusluokka	Indeksin β vähimmäisarvot 50 vuoden tarkastelujakso
RC3	4,3
RC2	3,8
RC1	3,3

(vrt. täydellinen taulukko B2 standardissa SFS-EN 1990)

Eräs yksinkertainen keino, jolla luotettavuuden tasoluokitus voidaan käytännössä tehdä, on käyttää kuormille eri luotettavuusluokissa erilaista osavarmuusluvua γ_F . Kun kansallisessa liitteessä annetut kuormien osavarmuusluvut kerrotaan alla olevan taulukon mukaisilla kertoimilla K_{FI} , ja samalla rakenteellisen mitoituksen, valvonnan ja toteuttamisen tarkastustasot säilytetään muuttumattomina, voidaan olettaa, että saavutetaan taulukon F.2 mukainen luotettavuusluokka.

Taulukko F.3 Kuormakerroin K_{FI} eri luotettavuusluokissa

	Luotettavuusluokka		
	RC1	RC2	RC3
Kuormakerroin K_{FI}	0,9	1,0	1,1

Lähtökohtaisesti sillat sijoitetaan seuraamusluokkaan CC2. Tästä johtuen silloilla ei ole otettu Suomessa lainkaan käyttöön kuormakerrointa K_{FI} (joka on 1,0 seuraamusluokassa CC2).

Tilapäiset sillat ja sillat, joissa vaurioseuraamukset ovat lievät, voidaan asianomaisen viranomaisen päätöksellä sijoittaa hankekohtaisesti seuraamusluokkaan CC1.

Tällöin yhtenä mahdollisuutena seuraamusluokan CC1 rakenteissa on kuormakertoimen $K_{FI} = 0,9$ käyttö murtorajatilan kuormitusyhdistelyissä ja/tai yksittäisten rakenteosien kantokyvyn menettämisen salliminen (ks. standardin SFS-EN 1991-1-7 siltoja koskeva kansallinen liite, kohta 3.3 (2))

Mikäli mahdollisella onnettomuudella on oletettavissa suuret vaurion seuraukset eli ollaan seuraamusluokassa CC3, tehdään erillinen riskianalyysi ja mahdollisista toimenpiteistä päätetään hankekohtaisesti. Riskinarvioinnissa voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1991-1-7 opastavaa liitettä B.

Yhtenä mahdollisuutena seuraamusluokan CC3 rakenteissa on kuormakertoimen $K_{FI} = 1,1$ käyttö ja/tai rakenteelliset toimenpiteet mahdollisen onnettomuuden todennäköisyyden tai onnettomuudesta seuraavien vaurioiden pienentämiseksi. Standardin SFS-EN 1991-1-7 kappaleen 3.3 esittämät toimintaperiaatteet, joiden mukaan rajoitetaan paikallisen vaurion laajuutta, määritellään hankekohtaisesti seuraamusluokan CC3 rakenteille.

Tämän soveltamisohjeen esittämät onnettomuusmitoitustilanteet soveltuvat sellaisenaan seuraamusluokkien CC1 ja CC2 rakenteiden mitoitukseen. Seuraamusluokan CC3 rakenteille onnettomuuskuormat määritellään riskianalyysin perusteella.

F.4 Törmäyskuormat

Silloissa otetaan yleensä huomioon ainoastaan kantaviin rakenteisiin kohdistuvat törmäykset. Muihin rakenteisiin kohdistuvat törmäykset otetaan huomioon ainoastaan, jos niistä on vaaraa sillan kantavuudelle tai sillan käyttäjille.

Kevytrakenteisien siltarakenteiden, kuten jännitettyjen elementtisiltojen, puusiltojen ja teräsiltojen ml. teräksisten putkisiltojen, päällysrakenne on sijoitettava vähintään 1 m alitse kulkevalle ajoneuvoliikenteen tielle määritellyn vapaan korkeuden yläpuolelle ajoneuvon törmäyksen todennäköisyyden pienentämiseksi.

Sillan alikulkukorkeus on päällysrakenteen alapinnan ja alittavan väylän mitoitusvesipinnan (aaltoilun ja aluksen keinumisen turvallisuusväli huomioituna), tienpinnan tai kiskon selän välinen pienin korkeusero kulkuaukon kohdalta mitattuna. Mitoitusvesipinta on meriväylillä keskivesi MW ja sisävesistöissä purjehduskauden aikainen ylivesi HW_{nav} , jos se on tiedossa, tai muuten ylivesi HW.

Ellei rakenteen haurasmurtuminen aseta rajoituksia rakenteen käyttäytymiselle, törmäystilanteessa rakenteen ja maan rajapinnan yhteistoimintaa voidaan pitää plastisena ja kestävyuden ylärajana maan murtumista tai passiivipainetta.

Ajoneuvoliikenteen sillan kannen reunan tulee kestää kaikissa tilanteissa onnettomuuskuorma, joka koostuu keskeisesti reunapalkin päälle sijoitetusta pyöräkuormasta (LM 1:n tavallinen arvo) ja samanaikaisesti kaiteeseen vaikuttavasta törmäyskuormasta samassa kohdassa. Kaiteen pulttiryhmän kiinnitys reunapalkkiin ja reunapalkin paikallinen kestävyys mitoitetaan pelkästään kaiteen törmäyskuormalle.

Kaiteen törmäyskuorma määritetään standardin SFS-EN 1991-2 kohdan 4.7.3.3 (2) mukaisesti käyttämällä osavarmuuslukua 1,5. Yleensä seuraavat törmäyskuormat (si-

sältävät em. varmuusluvun) ovat riittävät sekä teräs- että betonikaiteille, kun pylväsväli on 2 m:

- kaiteen törmäyskestävyysluokka H2: momentti $M = 18 \text{ kNm}$ ja leikkausvoima $H = 90 \text{ kN}$ ($= M / 0,2 \text{ m}$). Reunapalkin kestävyyttä ei normaalisti tarvitse tarkastella H2 luokan kaiteella.
- kaiteen törmäyskestävyysluokka H4b: momentti $M = 90 \text{ kNm}$ ja leikkausvoima $H = 450 \text{ kN}$ ($= M / 0,2 \text{ m}$).

Mikäli käytetään edellä esitetyistä poikkeavaa törmäyskestävyysluokkaa tai halutaan määrittää reunapalkille tulevat voimat tarkemmin, saadaan kaiteen törmäyskuormaa vastaavat voimasuureet kertomalla kaiteen plastinen taivutuskapasiteetti ja sitä vastaava leikkausvoima varmuusluvulla 1,5.

Sillan rakenteen mitoituksessa voidaan olettaa, että yhdeltä kaidepylväältä siirtyy rakenteeseen täysi törmäyskuorma ja samanaikaisesti sen viereisiltä pylväiltä 50 % törmäyskuormasta, kun pylväsväli on 2 m tai enemmän. Mikäli pylväsväli on 1 m, oletetaan vierekkäisiltä kaidepylväiltä siirtyvän rakenteeseen täysi törmäyskuorma. Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. Samaan aikaan vaikuttava pystykuorma sijoitetaan määräävään kohtaan.

F.4.3.1 Törmäys tukena toimiviin alusrakenteisiin

Törmäyskuormat alusrakenteisiin saadaan taulukosta F.4, ellei asianomainen viranomainen hankekohtaisesti toisin määrää. (sama taulukko on standardin SFS-EN 1991-1-7 siltoja koskevassa kansallisessa liitteessä, 4.1(FI)).

Taulukko F.4 Alittavan tieliikenteen törmäyskuormat siltojen alusrakenteisiin

Liikenteen luokka	Kuorma F_{dx}^a [kN]	Kuorma F_{dy}^a [kN]
Moottoritiet sekä muut ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v \geq 80 \text{ km/h}$	1100	550
Ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $50 \text{ km/h} \leq v < 80 \text{ km/h}$	825	410
Ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v < 50 \text{ km/h}$	550	275
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autotallit, joiden kunnossapito hoidetaan koneellisesti tai joissa kuorma-autojen ^b kulku ei ole rakentein estetty	150	75
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autotallit, joiden kunnossapito hoidetaan manuaalisesti tai enintään 3,5 tonnin kalustolla ja joissa kuorma-autojen ^b kulku on rakentein estetty ^c	50	75

^a x = normaali liikenteen suunta, y = normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan

^b Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnissa

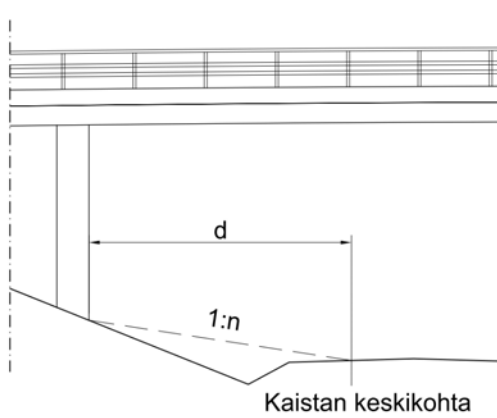
^c Rakenne-esteellä tarkoitetaan sitä, että kulkuväylä on kaiteilla tai sitä järeämmillä rakenteilla rajattu siten, että leveys on $\leq 2,4 \text{ m}$ tai kulkuväylän korkeus yläpuolisilla kantavilla rakenteilla rajattu siten, että korkeus on $\leq 2,2 \text{ m}$

Taulukossa F.4 esitetyt kuormat F_{dx} ja F_{dy} eivät vaikuta törmäystilanteessa samanaisesta.

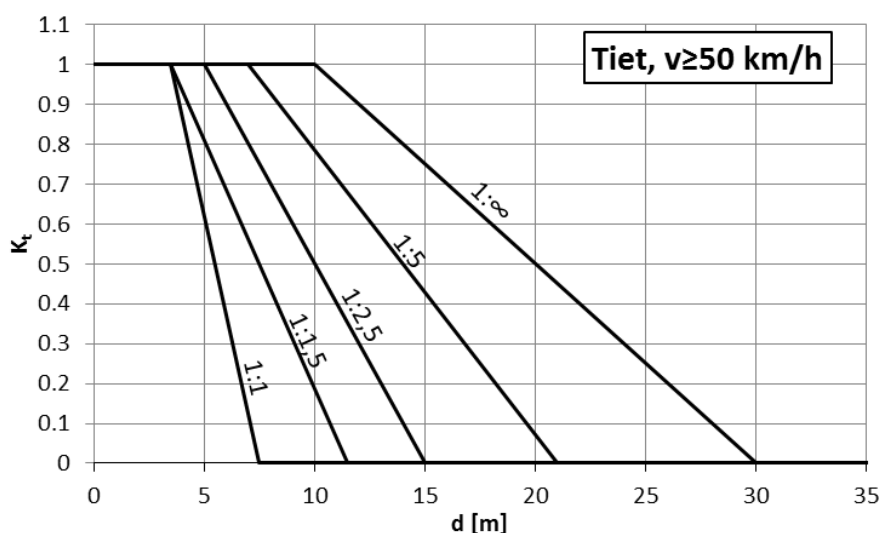
Törmäyskuorma jaetaan korkeussuunnassa alueelle 0,5-1,0 m ajoradan/luiskan pinnasta mitattuna ja leveydelle 1,50 m tai rakenneosan leveydelle sen mukaan, kumpi on pienempi.

Kun sillan alittavan väylän kaarevuussäde $R \leq 1000$ m, tulee alusrakenteisiin kohdistuvia törmäyskuormia kasvattaa tilaajan hankekohtaisesti määrittämällä tavalla tai törmäykselle altis rakenne suojata kaiteella.

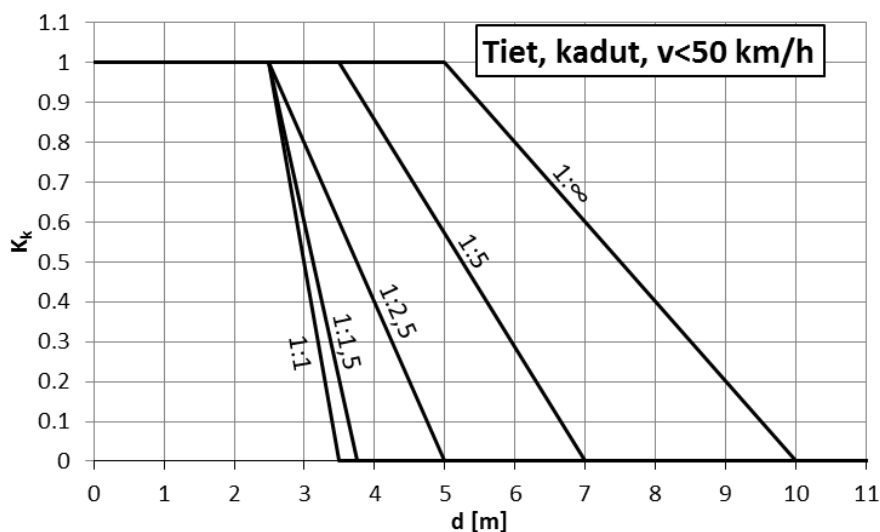
Sillan alusrakenteen etäisyys ajoradan reunasta ja pilarin juuren sijoittuminen ajorataa ylempänä otetaan huomioon pienentämällä taulukon F.4 törmäyskuormat kertoimilla K_t tai K_k . Kerrointa K_t käytetään teillä ja kaduilla kun ajonopeus on $v \geq 50$ km/h ja kerrointa K_k teillä ja kaduilla, kun ajonopeus on $v < 50$ km/h. Kertoimien arvot saadaan kuvista F.2 ja F.3. Kevyen liikenteen teillä, kaduilla ja piholla pienennyskertoimia ei käytetä, ellei hankekohtaisesti niin sallita. Kuvissa käytettävä kaltevuus määritetään kuvan F.1 mukaisesti.



Kuva F.1 Alusrakenteen etäisyys reunimmaisen kaistan keskiviivasta.



Kuva F.2 Pienennyskerroin moottoriteillä ja muilla teillä kun ajonopeus on yli 50 km/h.



Kuva F.3 Pienennyskerroin teillä ja kaduilla kun ajonopeus on alle 50 km/h.

Teillä, missä ajonopeus on ≥ 50 km/h ja pilarin juuri on kaltevuudella 1:5 alempana kuin ajoradan pinta, törmäyskuorma on pienentämätön etäisyydelle 20 m saakka ja yhtä kuin nolla etäisyydellä 50 m. Teillä ja kaduilla, missä ajonopeus on alle 50 km/h ja pilarin juuri on kaltevuudella 1:5 alempana kuin ajoradan pinta, törmäyskuorma on pienentämätön etäisyydelle 10 m saakka ja yhtä kuin nolla etäisyydellä 20 m. Väliarvot voidaan laskea interpoloimalla. Kaltevuuden ollessa suurempi kuin 1:5 pienennyskertoimia ei käytetä.

Mikäli luiskan ja päällysrakenteen alapinnan välinen tila törmäyskohdassa on $< 1,2$ m, törmäyskuormaa ko. alusrakenteeseen ei tarvitse ottaa huomioon.

Taulukosta F.4 saatua törmäyskuormaa, jota on pienennetty kuvien F.2 ja F.3 mukaisesti, voidaan edelleen kertoa kertoimella 0,65, kun rakennetta suojaa >1000 mm korkea asianomaisen viranomaisen hyväksymä H2 luokan (tai korkeamman luokan) kaide ja rakenteen ja kaiteen välissä on vähintään 1,3 m vapaa tila. Mikäli rakenne sijaitsee alaspäin viettävässä luiskassa, tulee vapaan tilan leveys kertoa kahdella.

Törmäyskuormaa ei tarvitse ottaa lainkaan huomioon, mikäli rakenteen ja kaiteen välissä on vähintään 5 m leveä vapaa tila.

Väliarvot voidaan interpoloida yllä esitetystä arvoista. Kun käytetään tiekaidetta (korkeus 650...1000 mm) rakennetta suojaamassa, voidaan käyttää edellä mainittua vähennyskerrointa 0,65, mutta yllä mainitut suojaetäisyydet on kerrottava kahdella. H2-kaiteen pituuden tulee olla vähintään 35m + suojattavan alueen pituus (30 m ennen siltaa liikenteen tulosuuntaan ja 5m jättösuuntaan).

F.4.3.2 Päällysrakenteisiin kohdistuva törmäys

Törmäyskuormat päällysrakenteisiin saadaan taulukosta F.5, ellei asianomainen viranomainen hankekohtaisesti toisin määrää. (sama taulukko on standardin SFS-EN 1991-1-7 siltoja koskevassa kansallisessa liitteessä, 4.2(FI)).

Taulukko F.5 Alittavan tieliikenteen törmäyskuorma siltojen päällysrakenteisiin

Liikenteen luokka	Ekvivalentti staattinen mitoitus kuorma F_{dx}^a [kN]	Törmäyksen kohteena olevan rakenteen alarajakorkeus h_0 [m]
Moottoritiet sekä muut ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v \geq 80 \text{ km/h}$	500	5,4
Ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $50 \text{ km/h} \leq v < 80 \text{ km/h}$	375	5,4
Ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v < 50 \text{ km/h}$	250	5,4
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autotallit, joiden kunnossapito hoidetaan koneellisesti tai joissa kuorma-autojen ^b kulku ei ole rakentein estetty	75	4,8
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autotallit, joiden kunnossapito hoidetaan manuaalisesti tai enintään 3,5 tonnin kalustolla ja joissa kuorma-autojen ^b kulku on rakentein estetty ^c	25	3,5

^a x = normaali liikenteen suunta^b Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnissa^c Rakenne-esteellä tarkoitetaan sitä, että kulkuväylä on kaiteilla tai sitä järeämmillä rakenteilla rajattu siten, että leveys on $\leq 2,4 \text{ m}$ tai kulkuväylän korkeus yläpuolisilla kantavilla rakenteilla rajattu siten, että korkeus on $\leq 2,2 \text{ m}$

Päällysrakenteen törmäyskestävyyttä tarkastettaessa taulukossa F.5 päällysrakenteeseen kohdistuvan törmäyskuorman suuruus on täysimääräinen, kun törmäyskohteena olevan rakenteen alikulkukorkeus on yhtä suuri tai pienempi kuin taulukossa F.5 annettu alarajakorkeus h_0 . Törmäyskuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun alikulkukorkeus ylittää alarajakorkeuden $h_1 = h_0 + 1 \text{ m}$. Väliarvot voidaan interpoloida.

Päällysrakenteen laakeroinnin tai sidonnan alusrakenteisiin tulee kestää taulukon F.5 törmäyskuorma, jonka suuruus on täysimääräinen, kun törmäyskohteena olevan rakenteen alikulkukorkeus on yhtä suuri tai pienempi kuin taulukossa F.5 annettu alarajakorkeus h_0 . Törmäyskuorma otaksutaan olevan 20 % täysimääräisestä, kun alikulkukorkeus ylittää alarajakorkeuden $h_2 = h_0 + 3 \text{ m}$ (väliarvot voidaan interpoloida).

Tarvittaessa otetaan huomioon myös liikenteen suuntaa vastaan kohtisuora kuorma F_{dy} (taulukon F.5 arvot voidaan puolittaa). Kuormat F_{dx} ja F_{dy} eivät vaikuta törmäys-tilanteessa samanaikaisesti.

Sillan päällysrakenteeseen kohdistuvissa törmäyksissä tulee ottaa huomioon myös taulukon F.5 mitoituskuorma F_{dx} käännettynä 10° ylöspäin (ks. SFS-EN 1991-1-7 4.3.2 (1) huom. 4).

Törmäyskuorman vaikutusalue on $0,25 \text{ m}^2$ neliö.

F.4.5 Suistuneen junan aiheuttamat onnettomuuskuormat

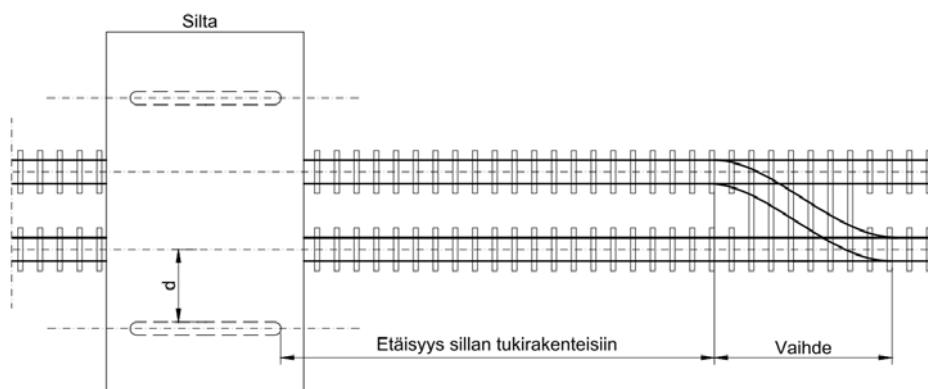
Sillat kuuluvat yleensä standardin SFS-EN 1991-1-7 luokkaan B: Massiivinen rakenne, joka ylittää käytössä olevan rautatien ja jossa ei oleskella pysyvästi.

Junien törmäyskuormat alusrakenteisiin saadaan taulukosta F.6, ellei hankekohtaisesti tosin määrätä.

Taulukko F.6 Alittavan rataliikenteen törmäyskuorma siltöjen alusrakenteisiin

Vaakasuora etäisyys rakenteen pinnasta lähimmän raiteen keskilinjaan [m]		Raiteen suuntainen voima[kN]		Raidetta vastaan kohtisuora voima [kN]	
vaihteeton alue	vaihdealue	≤ 120 km/h	≥ 200 km/h	≤ 120 km/h	≥ 200 km/h
d < 3,1 m	d < 5 m	8000	10000	3000	3750
d = 3,1 - 5 m	d = 5 - 7 m	4000	6000	1500	2250
d = 5 - 7 m	d = 7 - 10 m	2000	4000	750	1500
d = 7-10 m		0	1000	0	375

- Kuormat voidaan interpoloida lineaarisesti nopeuden suhteen, kun $120 < V < 200$ [km/h].
- Kuormia voidaan vähentää 50 %, jos kaluston nopeus on alle 50 km/h.
- Kuormia voidaan vähentää 50 %, jos tukirakenteet on suojattu vähintään 0,55 m korkeilla massiivisilla laiturirakenteilla, tai jos yksittäiset tukirakenteet on yhdistetty vastaavan korkuisilla massiivisilla jalustoilla.
- Yksittäiseen rakenneosaan kohdistuvia kuormia voidaan vähentää 50 %, jos rakenneosa ei sijaitse rakenneosarivin ulommaisena rakenneosana.
- Kuormia voidaan vähentää 25 %, jos radalla on käytetty suojakiskoja. Suojakiskojen pituuden tulee olla $\geq V^2/80$ [m], mutta vähintään 30 m. (V = junan nopeus [km/h].) Suojakiskojen käytölle tulee olla Liikenneviraston lupa ja niiden tarve esitetään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.
- Silta on vaihdealueella, kun vaihteen etäisyys sillan tukirakenteen reunasta on pienempi kuin $V^2/80$ [m], ks. kuva F.4 (V = junan nopeus [km/h]).



Kuva F.4 Vaihteen etäisyys sillan tukirakenteista

Edellä mainittuja vähennyksiä voidaan yhdistellä kertomalla keskenään.

Onnettomuuskuormat vaikuttavat 2 m:n korkeudella raiteen korkeusviivan tasosta. Törmäyspinnan leveydeksi voidaan otaksua enintään 2 m ja korkeudeksi enintään 1 m.

F.4.8 Laivaliikenteen aiheuttamat onnettomuuskuormat

Standardin SFS-EN 1991-1-7 opastavassa liitteessä C esitettyjä alustyyppejä ei voi sellaisenaan käyttää suunnittelussa, vaan paikalliset olosuhteet on otettava huomioon. Muut standardissa SFS-EN 1991-1-7 esitetyt laivan törmäyksiä koskevat vaatimukset ovat voimassa, elleivät paikalliset olosuhteet eroa merkittävästi standardin oletuksista.

Käytettävät törmäyskuormat määritellään hankekohtaisesti asianomaisen viranomaisen toimesta perustuen väyläkohtaisiin tietoihin. Mahdollinen riskianalyysi ja siihen liittyvä laivojen törmäysten tilastollinen mallintaminen tehdään tarvittaessa yleisesti tunnustettuja menetelmiä käyttäen.

Erityistä huomiota on kiinnitettävä laivaväylän viereisten tukien suunnitteluun riittävän vaurionsietokyvyn (robustness) varmistamiseksi.

G Kuormien yhdistely (SFS-EN 1990/A1 Liite A2)

Kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990:2002/A1 – liite A2) sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetaakaan kantaa.

G.1 Käyttötarkoitus

Standardin SFS-EN 1990 liitteessä A2 esitetään tiesiltojen, kevyen liikenteen siltojen ja rautatiesiltojen suunnitteluun käytettäviä, kuormien yhdistelyä koskevia sääntöjä ja menetelmiä käyttörajatila- ja murtorajatilatarkasteluihin (lukuun ottamatta varmuuden osoittamista väsymisen suhteen) sekä eri kuormien osavarmuuslukujen γ ja yhdistelykertoimien γ_i suositeltavia mitoitusarvoja.

Tässä soveltamisohjeessa esitetään tärkeimmät standardin vaatimukset sekä standardin antamat kuormien yhdistelykertoimet ja -kaavat. Lisäksi tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 esitetään kaikki mahdolliset kuormitusyhdistelyt siten, että kaikki standardin vaatimukset tulevat otetuiksi huomioon.

Eri materiaaleista valmistettujen rakenneosien viitteellinen käyttöikä on esitetty materiaalistandardeja koskevissa soveltamisohjeissa.

G.2 Kuormien yhdistely

G.2.1 Yleistä

Kuormia, jotka eivät fysikaalisista tai toiminnallisista syistä voi esiintyä samanaikaisesti, ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti kuormien yhdistelmissä, joista voimasuureet lasketaan.

Murtoraja- ja käyttörajatilan kuormitusyhdistelyt muodostetaan taulukoiden G.4-G.8 avulla (vastaavat taulukot standardissa ovat A2.4...A2.6). Yhdistelyssä käytettävät yhdistelykertoimet (γ_i) on esitetty taulukoissa G.1-G.3 (vastaavat taulukot standardissa ovat A2.1...A2.3). Kuormitusyhdistelmiä tehtäessä on otettava huomioon kaikki standardissa esitetyt erityisehdot (näitä erityisehtoja on mm. kappaleissa A2.2.2...A2.2.4)

Liitteessä 1 on esitetty kaikki mahdolliset kuormitusyhdistelmät murto- ja käyttörajatiloissa, kun otetaan huomioon edellä esitetyt standardin vaatimukset ja erityisehdot. Liitteen 1 käyttö on suositeltavaa kuormitusyhdistelmiä muodostettaessa.

Eurokoodin soveltamisohje

Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)

G.2.2 Yhdistelykertoimien γ arvot

Tässä kappaleessa esitetyt taulukot G.1...G.3 sisältävät yhdistelykertoimet tieliikenteen silloille (G.1), kevyen liikenteen silloille (G.2) sekä rautatiesilloille (G.3). Kyseiset taulukot vastaavat liitteen A2:n taulukoita A2.1...A2.3 ja niihin on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat sekä kansalliset lisäykset.

Taulukko G.1 Tiesiltöjen yhdistelykertoimet

Kuorma		ψ_0 Yhdistelyarvo (combination)	ψ_1 Tavallinen arvo (frequent)	ψ_2 Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
LIIKENNEKUORMAT	gr1a Tell (LM1)	0.75	0.75	-
	UDL (LM1)	0.4	0.4	0.3
	Keveyen liikenteenkuorma (3kN/m ²)	0.4	0.4	-
	gr1b Akselikuorma (LM2)	-	0.75	-
	gr2 LM1 +Vaakuormat	-	-	-
	gr3 Keveyen liikenteen väylän kuorma	-	-	-
	gr4 Ruuhakuorma	-	0.75	-
	gr5 Erikoiskuorma (LM3)	-	-	-
TUULIKUORMAT	-F _{wk} , Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	0.6	0.2	-
	- Toteuttamisen aikana	0.8	-	-
LÄMPÖTILAKUORMAT	T _k (ks. kappale D)	- 0.6	0.6	0.5
LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0.6	0.5	0.4
JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0.7	0.5	0.2
TUKIPAINUMAT/-SIIRTYMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma		
VEDENPINNAN ASEMA	W (ks. kappale H.5)	pysyvä kuorma		
LIIKENNEKUORMAN MAANPAINA	TLEP (ks. kappale B.4.8)	0.75	0.75 ¹⁾	-
LUMIKUORMA (toteuttamisen aikana)	Q _{sn,k} (ks. 1991-1-3 sekä materiaali-kohtaiset NCCI-ohjeet)	0.8	-	-
TOTEUTTAMISESTA AIHEUTUVAT KUORMAT	Q _c (ks. kappaleet H.12 ja H.13 sekä materiaali-kohtaiset NCCI-ohjeet)	1	-	1

1) Liikennekuorman maanpaineen vaakasuuntaiselle komponentille voidaan käyttää arvoa $\psi_1 = 0,4$

Taulukko G.2 Kevyen liikenteen siltöjen yhdistelykertoimet

Kuorma		ψ_0 Yhdistelyarvo (combination)	ψ_1 Tavallinen arvo (frequent)	ψ_2 Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
LIIKENNEKUORMAT	gr1 Tasainen kuorma	0.4	0.4	-
	- Pistekuorma	-	-	-
	gr2 Huoltoajoneuvo	-	-	-
TUULIKUORMAT	-F _{wk} , Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	0.3	0.2	-
LÄMPÖTILAKUORMAT	T _k (ks. kappale D)	- 0.6	0.6	0.5
LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0.6	0.5	0.4
JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0.7	0.5	0.2
TUKIPAINUMAT/-SIIRTYMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma		
VEDENPINNAN ASEMA	W (ks. Kappale H.5)	pysyvä kuorma		
LIIKENNEKUORMAN MAANPAINA	TLEP (ks. kappale B.5.9)	0.4	0.4	-
LUMIKUORMA (toteuttamisen aikana)	Q _{sn,k} (ks. 1991-1-3 sekä materiaali-kohtaiset NCCI-ohjeet)	0.8	-	-
TOTEUTTAMISESTA AIHEUTUVAT KUORMAT	Q _c (ks. kappaleet H.12 ja H.13 sekä materiaali-kohtaiset NCCI ohjeet)	1	-	1

Taulukko G.3 Rautatiesiltöjen yhdistelykertoimet

Kuorma		Ψ_0 Yhdistelyarvo (combination)	Ψ_1 Tavallinen arvo (frequent)	Ψ_2 Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
Liikennekuormien yksittäiset komponentit ²	LM71	0.8	⁽¹⁾	0.2
	SW/0	0.8	⁽¹⁾	0.2
	SW/2	0	1.0	-
	ULT Kuormittamaton juna	1.0	-	-
	HSLM	1.0	1.0	0
	T&B Veto- ja jarrukuormat	Liikennekuorman yksittäisille komponenteille käytetään mitoitustilanteissa, joissa liikennekuormia pidetään yksittäisenä (usean komponentin sisältävänä) määräävänä kuormana eikä kuormaryminä, samoja yhdistelykertoimen ψ arvoja kuin asianomaisille pystykuormille		
	CF Keskipakokuormat			
	Pystysuuntaisten liikennekuormien aiheuttamien muodonmuutosten synnyttämät kuormat			
	NF Sivusysäyskuormat			
	ML Yleiseltä käytöltä suljettujen kulkukäytävien	0.8	0.5	0
	Todelliset junat	1.0	1.0	0
	TLEP Liikennekuormasta johtuva vaakasuuntaisen maapaineen lisäys	0.8	⁽¹⁾	0.2
	AE Aerodynaamiset vaikutukset	0.8	0.5	0
TIULIKUORMAT	-Fwk, Normaalisti vallitsevat mitoitustilanteet	0.75	0.5	0
LÄMPÖTILAKUORMAT	Tk (ks. kappale D)	0.6	0.6	0.5
LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0.6	0.5	0.4
JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0.7	0.5	0.2
TUKIPAINUMAT/-SIIRTYMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma		
VEDENPINNAN ASEMA	W (ks. kappale H.5)	pysyvä kuorma		
LUMIKUORMAT (toteuttamisen aikana)	$Q_{s,n,k}$ (ks. 1991-1-3 sekä materiaali-ohjeet)	0.8	-	-
TOTEUTTAMISESTA AIHEUTUVAT KUORMAT	Q_s (ks. kappaleet H.12 ja H.13 sekä materiaali-ohjeet)	1	-	1

1) Kerroin riippuu kuormitettujen raiteiden määrästä i seuraavasti: 0,8 kun i=1, 0,7 kun i=2 ja 0,6 kun i≥3

2) Pienin samanaikaisesti raideliikennekuormien yksittäisten komponenttien (esim. keski-, veto- tai jarrukuormakomponenttien) kanssa esiintyvä edullinen pystykuorma on 0,5 LM71

G.3 Murtorajatila

G.3.1 Normaalisti vallitsevat mitoitustilanteet

Normaalisti vallitsevissa mitoitustilanteissa murtorajatilan kuormien mitoitusarvot saadaan tässä kappaleessa esitetyistä taulukoista G.4...G.6. Kyseiset taulukot vastaavat liitteen A2:n taulukoita A2.4(A)...A2.4(C) ja niihin on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat sekä kansalliset lisäykset.

Siltöjen staattinen tasapaino tarkastetaan taulukon G.4 avulla (standardin taulukko A2.4(A) – Set A – EQU).

Rakenneosien kestävyys tarkastetaan taulukon G.5 avulla (standardin taulukko A2.4(B) – Set B – STR/GEO). Myös anturoiden ja paalujen suunnittelu tehdään taulukon G.5 avulla (menettelytapa 2 standardin kohdan A2.3.1 (5) mukaan, ks. siltöjen geotekniikkaa käsittelevä soveltamisohje NCCI7).

Taulukkoa G.6 ei käytetä siltöjen suunnittelussa luiskien vakavuustarkasteluja lukuun ottamatta.

Taulukko G.4 SET A – EQU staattinen tasapaino

	Pysyvät kuor- mat	kuor-	Esijännitys	Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muut- tavat kuormat
Yhtä- lö 6.10	1,15 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,35 · (raideliikennekuor- ma)
	tai				
	1,15 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuor- ma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liiken- teen kuorma) 1,45 · $\psi_{0,i}$ · (raideliikenne- kuorma) + 1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttu- vat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja pysyvän kuorman osavarmuuslukua lukuun ottamatta
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana, ks. kpl H.2
- Esijännityksen osavarmuusluku on 1,30, kun tarkistetaan ulkoisen jännevoiman yhteydessä esiintyvää stabiilisuusrajaa ja jännevoiman arvon kasvu voi olla epäedullinen (ks. SFS-EN 1992-1-1 kohta 2.4.2.2 (2))
- Erikoistapaukset (vastapainon käyttö, laakereiden nousu tms.), ks. standardin suositukset
- Siirtymillä aikaansaadun esijännityksen (tukien nosto/lasku) osavarmuusluku on 1,0 mikäli mitataan siirtymät ja tukireaktiot ja 1,1/0,9 mikäli mitataan vain siirtymät.
- Yhdistelykertoimet (γ_i) ks. taulukot G.1...G.3.
- Mitoituskaava:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot G_{kj,sup} + 0,9 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

Taulukko G.5 SET B – STR/GEO rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus

	Pysyvät kuor- mat	kuor-	Esijännitys	Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muut- tavat kuormat
6.10a	1,35 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	-
6.10b	tai				
	1,25 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · (raideliikenne- kuorma)
	tai				
	1,25 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuor- ma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liiken- teen kuorma) 1,45/1,20 · $\psi_{0,i}$ · (raideli- kennekuorma) + 1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttu- vat kuormat)

- Suomessa käytetään lausekkeita 6.10a ja 6.10b
- Käytettävä kertoimen ξ arvo on 0,925, jolloin $\gamma_{G,sup} = 1,35 \cdot \xi \approx 1,25$
- Lauseke 6.10a sisältää vain pysyvät kuormat
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana, ks. kpl H.2
- Liikennekuorman maanpaineen osavarmuusluku on tieliikennekuormilla ja kevyen liikenteen kuormilla 1,35 / 0 ja raideliikennekuormilla 1,50 / 0
- Tukipainuman osavarmuusluku lineaarisessa analyysissä 1,20 / 0 ja epälineaarissa analyysissä 1,35 / 0
- Esijännityksen osavarmuusluku on 1,20 kun tarkistetaan jännitysvoiman paikallisia vaikutuksia (esim. ankkurointialue), ks. SFS-EN 1992-1-1 kohta 2.4.2.2(3).
- Yhdistelykertoimet (γ_i) ks. taulukot G.1...G.3.
- Mitoituskaava a: $E_d = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot G_{kj,sup} + 0,90 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P$
- Mitoituskaava b:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,25 \cdot G_{kj,sup} + 0,90 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

Taulukko G.6 SET C – STR/GEO

	Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10	1,00	G	1,00	P	1,15 · (tieliikennekuorma) 1,15 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,25 · (raideliikennekuorma)	1,30 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	tai					
	1,00	G	1,00	P	1,30 · (muu määräävä muuttuva kuorma)	1,15 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,15 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,25 · $\psi_{0,i}$ · (raideliikennekuorma) + 1,30 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana, ks. kpl H.2
- Liikennekuorman maanpaineen osavarmuusluku on 1,30 / 0
- Yhdistelykertoimet (γ_i) ks. taulukot G.1...G.3.
- Mitoituskaava:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

G.3.2 Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitustilanteet

Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitustilanteissa murtorajatilan kuormien mitoitusarvot saadaan tässä kappaleessa esitetystä taulukosta G.7. Kyseinen taulukko vastaa liitteen A2:n taulukkoa A2.5 ja siihen on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat.

Taulukko G.7 Onnettomuusmitoitussyhdistely

Mitoitustilanne		Pysyvät kuormat		Esijännitys		Onnettomuus- tai maanjäristyskuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
Onnettomuuskuorma	6.11 a/b	1,00	G	1,00	P	A_d (onnettomuuskuorma)	$\psi_{1,i} \cdot$ (liikennekuorma) $\psi_{2,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)
Maanjäristyskuorma	6.11 a/b	1,00	G	1,00	P	A_{Ed} (maanjäristyskuorma)	$\psi_{2,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja
- Onnettomuusmitoitussyhdistelmissä määräävälle muuttuvalle kuormalle annetaan sen tavallinen arvo (γ_1) mikäli kyseessä on liikennekuorma, muuten pitkäaikaisarvo (γ_2). Muille muuttuville kuormille annetaan pitkäaikaisarvo (γ_2).
- Tiesilloilla liikennekuorma sijaitsee vain yhdellä kaistalla.
- Mikäli hankekohtaisesti ei muuta päätetä (esim. ratapihalla), voi onnettomuusyhdistelmissä rautatiesillä olevan liikennekuorman puolittaa
- Kansallinen viranomais voi määrätä erikseen mahdolliset maanjäristystilanteet.
- Onnettomuuskuorman mitoituskaava:

$$E_d = 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + P + A + (\psi_{1,1} \vee \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

G.4 Käyttörajatila

Käyttörajatiloissa kuormien mitoitusarvoina käytetään taulukon G.8 arvoja. Kyseinen taulukko vastaa liitteen A2:n taulukkoa A2.6 ja siihen on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat.

Taulukko G.8 Käyttörajatilayhdistelyt

	Pysyvät kuormat		Esijännitys	Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
Ominaisyhdistelmä 6.14	1,00	G	1,00	P	$\psi_{0,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)
Tavallinen yhdistelmä 6.15	1,00	G	1,00	P	$\psi_{1,1} \cdot$ (määräävä muuttuva kuorma) $\psi_{2,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)
Pitkäaikaisyhdistelmä 6.16	1,00	G	1,00	P	$\psi_{2,1} \cdot$ (määräävä muuttuva kuorma) $\psi_{2,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)
Pysyvät kuormat	1,00	G	1,00	P	–

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja
- Eri käyttörajatiloissa tehtävät tarkastelut on määritetty materiaalikohtaisissa soveltamisohjeissa
- Mitoituskaava 6.14: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + P + Q_{k,1} + \sum (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$
- Mitoituskaava 6.15: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$
- Mitoituskaava 6.16: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + P + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$

Eurokoodeista on tulkittavissa seuraava perusperiaate eri käyttörajatilojen käytölle:

- Käyttörajan ominaisyhdistelmällä tarkastetaan ”palautumattomia” muodonmuutoksia, mm.:
 - Betonirakenteen jännitysrajat (NCCI 2 kpl 7.2)
 - Teräs-/liittorakenteen jännitysrajat (NCCI 4 kpl 7.2.1.1, kpl 7.2.1.2, kpl 7.2.1.3)
 - Kylmässä käyttölämpötilassa olevien terästuotteiden suurimman sallitun levypaksuuden määrittäminen (NCCI 4 kpl. 3.3)
 - Liittorakenteen kansilaatan halkeilun vaikutus rakenteen jäykkyyteen (NCCI 4 kpl 5.2.3)
 - Vaaröiden jännitysraja (NCCI 4 kpl 6.3.2)
 - Rautatieliikenteen siltöjen taipumarajat¹⁾ (NCCI 1 taulukko B.9)
 - Laakereiden ja liikuntasäumalaitteiden liikevarat (TOSS kpl 2)
 - Perustusten ja paalujen jännitettyjen ja jännittämättömien ankkureiden käyttöehdot sekä jännitykset (NCCI 7 kpl 5.2.1.4)
 - Peruslaattojen liukumiskestävyyden korottaminen tartuntateräksillä tai jännitetyillä ankkureilla (NCCI 7 kpl 5.2.1.5)
 - Kaivinpaalujen ja porapaalujen kontaktipinnan puristusehto jännitettyjä ankkureita käytettäessä (NCCI 7 kpl 5.3.2.1 ja kpl 5.3.2.2)
 - Poratun ja injektoidun teräspalkkipaalun vetovoimaehto (NCCI 7 kpl 5.3.2.2)
- Käyttörajan tavallisella yhdistelmällä tarkastetaan ”palautuvia” muodonmuutoksia, mm.:
 - Tieliikenteen siltöiden ja kevyen liikenteen siltöiden taipumarajatilat (NCCI 2 kpl 7.2.2.1, NCCI 5 kpl 7.2, NCCI 4 kpl 7.2.2.1)
 - Lyhytaikaisen tilanteen halkeamarajatila (NCCI 2 kpl 7.3)
 - Teräsrakenteen jännitysrajat väsytyksitoitukseen liittyen sekä uuden hengittäminen (NCCI 4 kpl 7.2.1.1)
 - Maanvaraisten rakenteiden kimmoiset painumat (NCCI 7 kpl 5.2.2.5)
- Pitkäaikaisella yhdistelmällä tarkastetaan mm.
 - Betonin jännitysraja $0,45 \cdot f_{ck}$ (NCCI 2 kpl 7.2)
 - Jännitetyn rakenteen jäniteitä ympäröivän betonin pysyminen puristettuna (NCCI 2 kpl 7.3)

- Pitkäaikaisen tilanteen halkeamarajatila (NCCI 2 kpl 7.3)
- Pysyvien kuormien yhdistelmällä tarkastetaan mm.
 - Jännitetyn rakenteen vetojännityksetön tila kaikilla pinnoilla (NCCI 2 kpl 7.3)
 - Laakerikitkan aiheuttama kuorma (kpl H.3)
 - Jännittämättömien ankkureiden/tartuntaterästen käyttöehdot (NCCI 7 kpl 5.2.1.4, kpl 5.3.2.1, kpl 5.3.2.2)
 - Maanvaraisten rakenteiden konsolidaatiopainumat (NCCI 7 kpl 5.2.2.5)
 - Sillan välituen kaatumistarkastelun tarpeellisuus (NCCI 7 kpl 5.2.1.4)
 - Resultantin sijainti kantokestävyyttä laskettaessa (NCCI 7 kpl 5.2.2.3)
 - Siltojen paalujen vetovoimaehto (NCCI 7 kpl 5.3.2.2)
 - Paalun ankkurointitarve jännitetyillä ankkureilla (NCCI 7 kpl 5.3.2.2 kuva 5.5)

¹⁾ Rautatieliikenteen silloilla siirtymäraajat käsitetään turvallisuuteen liittyviksi rajatiloiksi ja tarkastelu tehdään ominaisyhdistelmällä

Yllä olevasta listasta on jätetty pois eräät erikoistapaukset väsymiseen liittyen.

G.4.3.2 Kevyen liikenteen mukavuuskriteerit

Kevyen liikenteen siltojen värähtelystä aiheutuu yleensä haittaa vain sillan käyttäjille koettuna epämiellyttävyytenä, eikä se vaurioita siltaa. Periaatteena on, että vähemmän liikennöidyillä silloilla voidaan sallia enemmän värähtelyä kuin vilkkaasti liikennöidyillä.

Siltojen suunnittelussa tulisi aina harkita laskennassa käytetty heräte, laskentamenetelmä ja kiihtyvyyksirajat (mukavuustaso) tapauskohtaisesti. Tätä tarkoitusta varten on tehty siltojen jako neljään luokkaan liikennemäärän suhteen. Tätä luokkajakoa on herätteiden valinnan suhteen suositeltavaa noudattaa.

Seuraavassa kappaleessa esitetty mitoitusmenetelmä on kuitenkin melko konservatiivinen varsinkin herätteiden huomioon ottamisen osalta (herätteen paikallaan pysyvyys). Jotta välttyttäisiin liialliselta ylimitoitukselta värähtelyn suhteen, voidaan laskentamallissa käyttää herätteiden osalta tarkempia menetelmiä perustuen liikkuvaan herätteeseen. Mahdolliset muutokset mitoituskriteereihin ja laskentamenetelmiin harkitaan hankekohtaisesti suunnittelijan ja tilaajan silta-asiantuntijan kesken.

Jos sillan mitoituskriteereitä selvästi helpotetaan, on suositeltavaa tehdä sen valmistuttua sille värähtelymittaus sekä mahdollisesti varautua jo suunnitteluvaiheessa mahdollisten värähtelyn vaimentimien asentamiseen.

Kevyen liikenteen silloilla värähtelystä aiheutuvat kiihtyvyydet on tarkistettava, kun sillan jokin ominaistajuus on pystysuuntaiselle värähtelylle alle 5,0 Hz ja poikittaiselle värähtelylle sekä vääntövärähtelylle alle 2,5 Hz. Pystysuuntaisena herätteenä käytetään kävelyherätettä tarkasteltavan ominaistajuuden ollessa alle 2,3 Hz ja muuten juoksuherätettä. Poikittaissuuntaisena herätteenä käytetään ainoastaan kävelyherätettä. Kiihtyvyys ei saa ylittää pystysuuntaisilla värähtelyillä arvoa 0,7 m/s² ja vaakasuuntaisilla värähtelyillä arvoa 0,2 m/s².

Kevyen liikenteen siltöjen värähtelytarkastelussa sillat jaetaan niiden sijainnin perusteella neljään eri siltaluokkaan. Käytettävä heräte valitaan siltaluokan perusteella. Siltaluokat on esitetty taulukossa G.9.

Taulukko G.9 Kevyen liikenteen siltöjen siltaluokat

Luokka	Kuvaus	Heräte
1	Erittäin vilkkaasti liikennöidyt kevyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat urheilustadionien läheisyydessä.	Heräte määritellään hankekohtaisesti.
2	Vilkkaasti liikennöidyt kevyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat kaupunkien keskustoissa.	Jalankulkijavirta $d = 0,5 \text{ hlö/m}^2$ tai kaksi juoksijaa.
3	Normaalisti liikennöidyt kevyen liikenteen sillat.	Neljä kävelijää tai yksi juoksija.
4	Vähäisesti liikennöidyt kevyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat metsäpolkujen varrella.	Yksi kävelijä. Hankekohtaisesti tarkastelu voidaan jättää tekemättä.

Kävelijä- sekä juoksijaryhmillä käytettävän herätteen pystysuuntainen amplitudi F saadaan lausekkeesta

$$F = k \cdot \alpha \cdot \rho \quad (\text{G.1})$$

missä

- k on määräkerroin, $k = n^{0,5}$ (jalankulkijat epätahdissa)
 n on jalankulkijoiden määrä
 α on kuormakerroin
 P on yhden kävelijän paino (700 N)

Kuormakerroin lasketaan kaavalla G.2 kävelyherätteelle ja kaavalla G.3 juoksuherätteelle.

$$\alpha = 0,83 \cdot e^{-0,35f} \leq 0,45 \quad (\text{G.2})$$

$$\alpha = 5,25 \cdot e^{-0,45f} \leq 1,5 \quad (\text{G.3})$$

missä f on rakenteen ominaistajuus. Vaakasuuntaisen herätteen amplitudi saadaan pystysuuntaisesta amplitudista kertomalla se kertoimella 0,125. Siltaluokassa 4 voidaan yksiaukkoisilla silloilla käyttää myös standardin SFS-EN 1995-2 liitteessä B esitettyä yksinkertaistettua menetelmää.

Jalankulkijavirrälle herätteenä käytetään koko kannen alalle tasaisesti jakautunutta kuormaa, jonka suunta valitaan niin, että sillä saadaan määräävä vaikutus tarkasteltavalla ominaisuudella. Kuorman suunta voi vaihdella sillan eri osissa. Kuorman amplitudi jalankulkijavirrälle saadaan kaavasta

$$F = a \cdot P \cdot n' \cdot \psi \quad (G.4)$$

missä

- a on herätteen suunnasta riippuva kerroin (pystysuuntaiselle 0,4 ja poikittaiselle 0,05)
P on yhden kävelijän paino (700 N)
n' on ekvivalentti jalankulkijoiden määrä
ψ on taajuudesta riippuva kuormakerroin

Ekvivalentti jalankulkijoiden määrä saadaan kaavasta

$$n' = \frac{10,8 \sqrt{\xi \times n}}{A} \quad (G.5)$$

missä

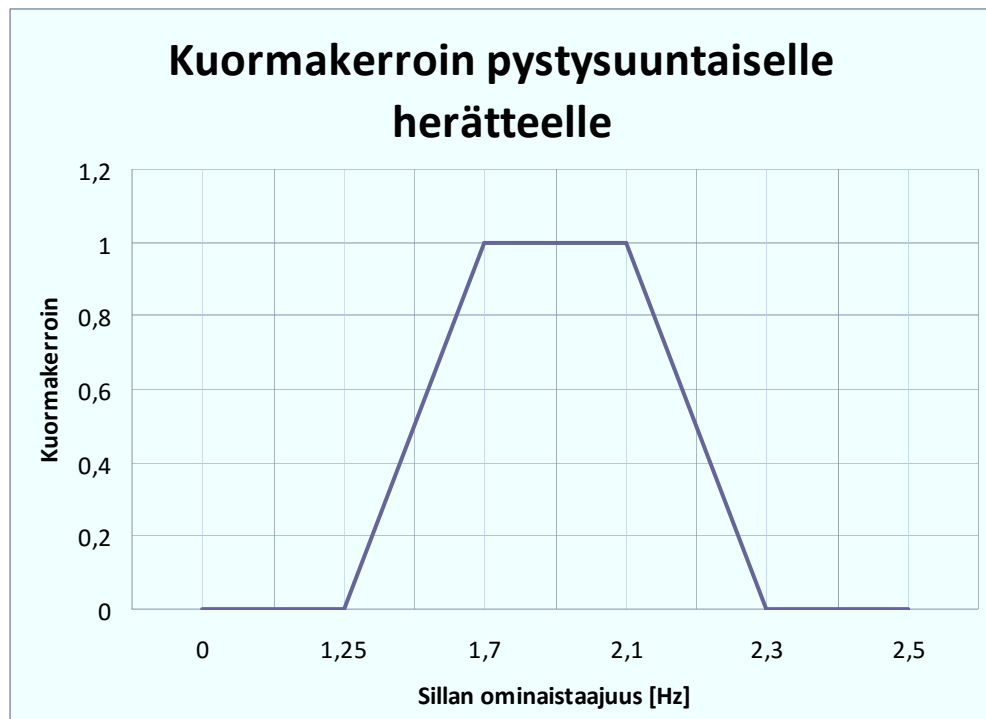
- ξ on sillan vaimennussuhde
n on jalankulkijoiden määrä sillalla ($n = d \times A$)
A on sillan kannen pinta-ala

Kuormakertoimen ψ arvo on esitetty alla olevissa kuvissa G.1 ja G.2.

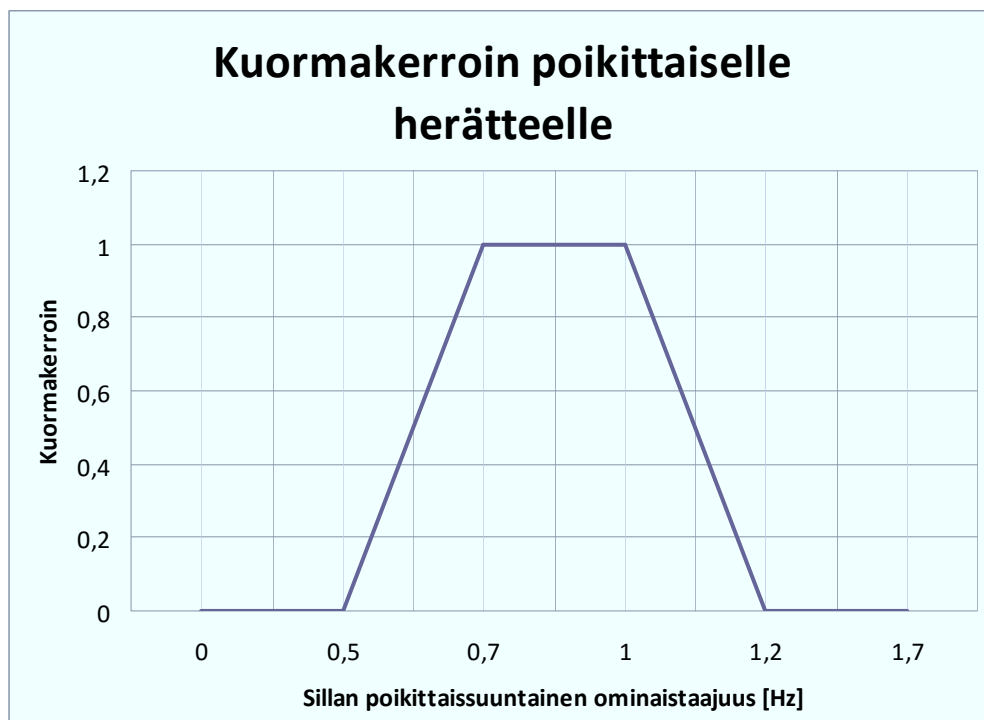
Jalankulkijaherätteen aiheuttamia värähtelyjä tarkasteltaessa käytettävät vaimennussuhteen arvot eri materiaaleille on esitetty taulukossa G.10.

Taulukko G.10: Vaimennussuhteet

Materiaali	Pienin ξ	Keskimääräinen ξ
Teräsbetoni	0,80%	1,30%
Jännitetty betoni	0,50%	1,00%
Liittorakenne	0,30%	0,60%
Teräs	0,20%	0,40%
Puu	1,00%	1,50%



Kuva G.1



Kuva G.2

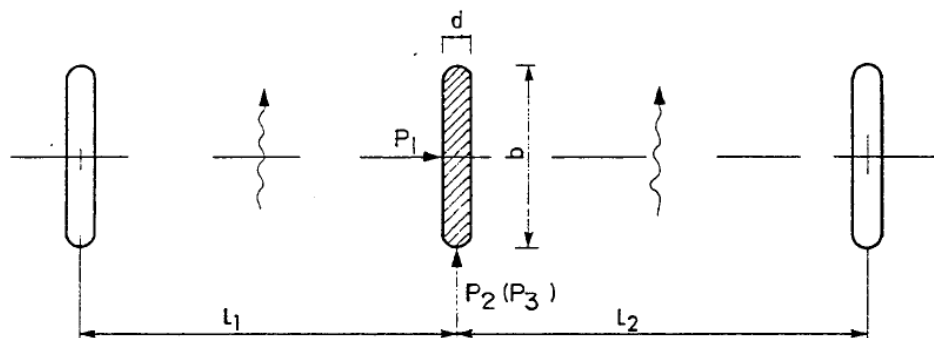
H Eurokoodin soveltamisalan ulkopuolelle jäävät kuormat ja muut lisäohjeet

H.1 Jääkuormat

Siltarakenne mitoitetaan jääkuormalle ottamalla huomioon paikalliset olosuhteet ja rakenteen muotoilu. Tavallisissa jokien jääolosuhteissa siltöjen jääkuormat voidaan määrittää seuraavassa esitetyllä tavalla. Näitä arvoja pienempiä arvoja voidaan käyttää helppoissa olosuhteissa, esim. jos siltapilarit ovat joka puolelta jääpeitteen ympäröimiä ja jää sulaa paikoilleen. Käytettäessä pienempiä arvoja tulee siltapaikan paikalliset olosuhteet huomioida asianomaisen viranomaisen kanssa sovitulla tavalla. Erityisen vaikeissa olosuhteissa käytetään suurempia jääkuorman arvoja.

Rakenteisiin kohdistuvien jääkuormien oletetaan vaikuttavan vedenpinnan HW tai NW tasossa vaakasuorassa suunnassa.

Siltapilariin kohdistuu jääkuorma P_1 , joka aiheutuu ensisijaisesti pysyvän jääpeitteen lämpötilan muutoksesta, ja jääkuorma P_2 , joka aiheutuu virran paineesta kiinteään jääpeitteeseen. Kuorman P_1 otaksutaan vaikuttavan kohtisuoraan pilarin sivupintaa vastaan ja kuorman P_2 virran suunnassa. (Kuva H.1). Jääkuormien P_1 ja P_2 ei oleteta vaikuttavan samanaikaisesti.



Kuva H.1 Sillan tukeen vaikuttavat jääkuormat

Jääkuorman P_1 suuruus määritetään kaavasta

$$P_1 = b \cdot i_1 \quad (\text{H.1})$$

jossa

b = siltapilarin leveys
 i_1 = 100 kN/m linjan Kemi-Kajaani eteläpuolella
150 kN/m linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella

Jos pilarin molemmin puolin on kiinteä jäänpeite, P_2 :n arvoa voidaan pienentää.

Jos vesistön rannat siltapaikan alueella ovat niin jyrkät, että jääkenttä saa täyden tuen vastareunaltaan, (esim. kallioranta 1:1 tai jyrkempi) kerrotaan jääkuorman P_1 arvo kertoimella 1,5.

Jääkuorman P_2 suuruus määritetään kaavasta

$$P_2 = 0,5(l_1 + l_2)i_2 \quad (\text{H.2})$$

jossa

l_1 ja l_2 ovat etäisyydet tarkasteltavalta pilarilta viereisiin pilareihin

$i_2 =$ 20 kN/m linja Kemi-Kajaani eteläpuolella

30 kN/m linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella

Jos siltapaikan alueella esiintyy liikkuvaa jäätä, tarkistetaan siltapilarit lisäksi virran suunnassa vaikuttavalle kuormalle P_3 , joka määritetään kaavasta

$$P_3 = 1000 \cdot h \cdot d [\text{kN}] \quad (\text{H.3})$$

jossa

$h =$ jään paksuus tarkasteltavassa kohdassa (m)

Jään paksuudeksi ei kuitenkaan oleteta enempää kuin 1,0 m

$d =$ siltapilarin paksuus (m)

H.2 Tukipainumat

Jos pääty- ja välituet perustetaan siten, että on odotettavissa perustusten painumia, arvioidaan painumaerot geoteknisten laskelmien perusteella. Kalliolle perustetut tuet oletetaan painumattomiksi. Maanvaraisten tukien painumaeroksi oletetaan aina vähintään 10 mm. Kalliokuoppaan ohuen täytteen varaan perustetun tuen siirtymäksi oletetaan 10mm, vaikka kuoppaa ei kuivateta.

Tukipainuma otaksutaan pysyväksi kuormaksi, jotka yhdistellään muiden pysyvien kuormien kanssa siten, että saadaan aikaan määräävä vaikutus.

Maanpaineen tai muiden vaakasuorien kuormien rasittamien maanvaraisten perustusten siirtymät arvioidaan erikseen. Kalliolle perustetut tuet oletetaan vaakasuunnassa siirtymättömiksi.

H.3 Laakerikitka

Liikkuvan laakerin kitka määritetään valmistajan suositusten mukaisesti ottaen huomioon materiaaliominaisuuksien ajasta riippuvat muutokset sekä laakerin mahdollinen likaantuminen ja syöpyminen. Riittävien tietojen puuttuessa määritetään kitkavoima kokeilla.

Laakereiden liukupintamateriaalien laakerikitkan arvo voi muuttua mm. eri lämpötiloissa ja pintapaineissa. Muiden kuin alla mainittujen materiaalien kitka-arvot sovitetaan hankekohtaisesti. Ellei tarkempia selvityksiä ole käytettävissä, laakerikitkana käytetään seuraavia arvoja pysyvän kuorman tukireaktiosta:

- PTFE-liukupinta 6 %
- UHMWPE-liukupinta 4 %
- Rullalaakeri 2 %

Sillan työntöasennuksen aikaisena kitkana liukupinnoille käytetään:

- PTFE-liukupinta 10 %
- UHMWPE-liukupinta 10 %
- Teräsrullat 5 %

Viisteistä ja muista työteknisistä seikoista johtuen voidaan joutua käyttämään suurempia arvoja ks. NCCI 4 kappale 4.1.3. Ks. myös standardin SFS-EN 1993-2 liite A.

H.4 Maanpaineen käsittely

Lepopaine katsotaan yleensä pysyväksi kuormaksi. Jos joku osa maa-aineksesta/maasta voidaan otaksua poistettavaksi rakenteen käyttöaikana, lasketaan poistamisen vaikutus pysyvän kuorman muutoksena.

Siltöjen maa- ja välituet mitoitetaan vähintään lepopaineen suuruiselle maanpaineelle ja tarkistetaan myös 0,7 kertaa lepopaineen suuruiselle paineelle.

Jos rakenne pakotetaan liikkumaan maata vastaan, mitoitetaan se suuremmalle maanpaineelle kuin lepopaine (passiivipaine). Passiivipaineen tapauksessa yhdistelykerroin määräytyy aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuuskerroin pysyvän kuorman mukaan.

Sovellettaessa tyyppisiltöjen suunnitelmia vinopäisiin siltoihin on aina varmistettava, että alusrakenne pystyy ottamaan päällysrakenteen päädyn ja penkereen vuorovaikutuksesta syntyvät voimat.

Pohjaveden pinnan tasossa oleva jäätnyt maa voi estää tukien vaakaliikkeen. Rakenne on tällöin mitoitettava myös vaakaliikkeen estäville kuormille. Samoin mitoitetaan myös vesistöiltöjen välituet.

H.5 Vedenpinnan asema

Vedenpaine ja veden aiheuttama noste käsitellään pysyvänä kuormana. Rakenteilla on oltava riittävä kapasiteetti ja varmuus vedenpaineen ollessa alivedenpinnan (NW) tai ylivedenpinnan (HW) tasolla. Vedenpinnan mitoituskorkeudet määritetään siten, että niitä ei ylitetä tai aliteta todennäköisyydellä 98% rakenteen suunniteltuna käyttöaikana. Siltarakenteita mitoitettaessa voidaan yleensä käyttää vedenkorkeuksien arvoja HW_{50v} ja NW_{50v} .

H.6 Betonin kutistuminen ja viruminen

Betonin kutistuminen ja viruminen voidaan yleensä ottaa huomioon suunnittelussa loppuarvolla. Tilanne, jossa vain osa kutistumisesta ja virumisesta on tapahtunut, tutkitaan tarvittaessa. Liikennekuorman kuormittaessa rakennetta voidaan otaksua vähintään 50 % kutistumasta ja virumasta tapahtuneeksi. Lisäohjeita esitetään Liikenneviraston betonisiltojen soveltamisohjeessa.

Kuormayhdistelyissä kutistuminen ja viruminen otetaan huomioon pysyvänä kuormana.

H.7 Jännevoima

Jännevoiman vaikutus lasketaan välittömästi jännittämisen jälkeen hetkellä $t = 0$ ja kaikkien häviöiden tapahduttua hetkellä $t = \infty$. Tarvittaessa tarkastellaan jännevoiman vaikutus ajanhetkellä $t = t_1$, jolloin silta kuormitetaan ja vasta osa häviöistä on tapahtunut.

H.9 Siltalaakerien mitoituskuormat

Laakereiden ja niihin liittyvien yksityiskohtien mitoitus tehdään Liikenneviraston ohjeen *Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun* mukaisesti.

Laakereiden rakenteellinen mitoitus suoritetaan taulukon G.5 mukaiselle murtorajatilán yhdistelmälle sekä taulukon G.8 mukaiselle käyttörajatilan ominaisyhdistelmälle. Tarvittaessa voidaan esittää myös onnettomuusrajatilan ja työnaikaisten tilanteiden kuormitusyhdistelmiä.

Mikäli laakerille tulee vetoa murtorajatilan kuormitusyhdistelmällä, on rakenteen kestettävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi. Mikäli laakerin tukireaktio on puristusta käyttörajatilan ominaisyhdistelmällä, ei sitä tarvitse suunnitella vetoa kestäväksi.

Tarkasteltaessa kumilevylaakerin liukuvarmuutta, voidaan liukuvarmuuden katsoa olevan riittävä, kun saman levymäisen rakenneosan laakereilla on yhteenlaskettuna riittävä kapasiteetti sillan pituussuuntaisten vaakavoimien ottamiseksi ja tukikohtaisesti sillan poikkisuuntaisten kuormien (esim. sivusysäys) ottamiseksi.

Yhteen suuntaan liikkuvien laakereiden suuntaus ja siitä aiheutuvat pakkovoimasuureet on tarkasteltava laskelmissa.

H.10 Pintarakenteet

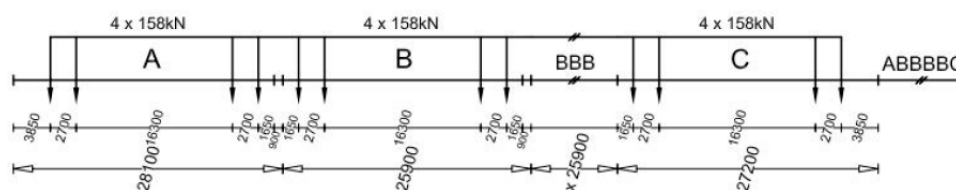
Sillan pintarakenteiden oma paino ja lisäpäällysteen paino (ks. kappale A.4.3.1) tulee huomioida sillan suunnittelussa. Pintarakenteen paksuus vaikuttaa myös sillan kantavien rakenteiden lämpötilakuormiin (ks. kappale D). Liikenneviraston ohjeessa *Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun* esitetään siltakannen pintarakenteen valintaan

liittyviä yleisperiaatteita. Pintarakenteen valinta tehdään sillan tuote- ja laatuvaatimusten ja/tai sillan rakennussuunnitelman laadinnan yhteydessä yhteistyössä tilaajan kanssa.

H.11 Suomalaiset junatyypit väsymismitoituksessa

Pendolino

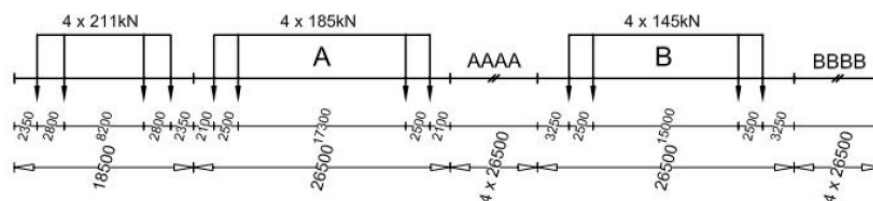
$$\Sigma Q = 7584 \text{ kN} \quad V = 220 \text{ km/h} \quad L = 317,8 \text{ m} \quad q = 23,9 \text{ kN/m}$$



Kuva H.2 Tyypin 1 – "Pendolino"

IC + IC²

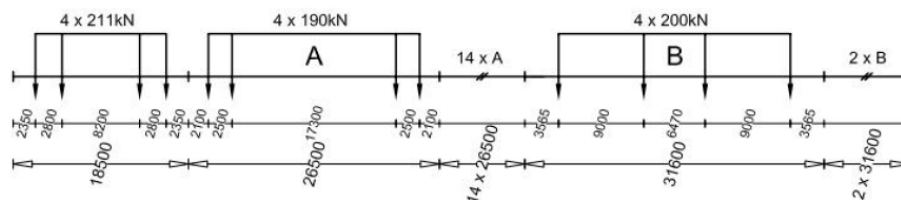
$$\Sigma Q = 7444 \text{ kN} \quad V = 200 \text{ km/h} \quad L = 283,5 \text{ m} \quad q = 26,3 \text{ kN/m}$$



Kuva H.3 Tyypin 2 – "IC+IC2"

Yöpikajuna

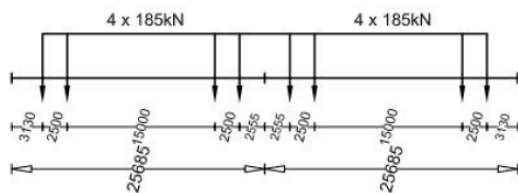
$$\Sigma Q = 14644 \text{ kN} \quad V = 120 \text{ km/h} \quad L = 510,8 \text{ m} \quad q = 28,7 \text{ kN/m}$$



Kuva H.4 Tyypin 3 – "Yöpikajuna"

Sm4

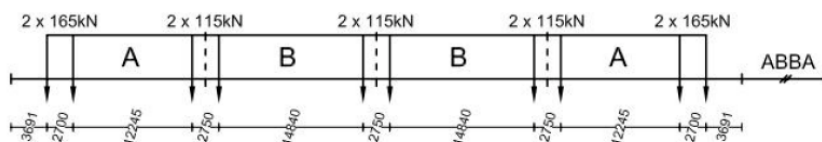
$$\Sigma Q = 1480 \text{ kN} \quad V = 120 \text{ km/h} \quad L = 51,4 \text{ m} \quad q = 28,8 \text{ kN/m}$$



Kuva H.5 Tyypä 4 – "Sm4"

Sm5

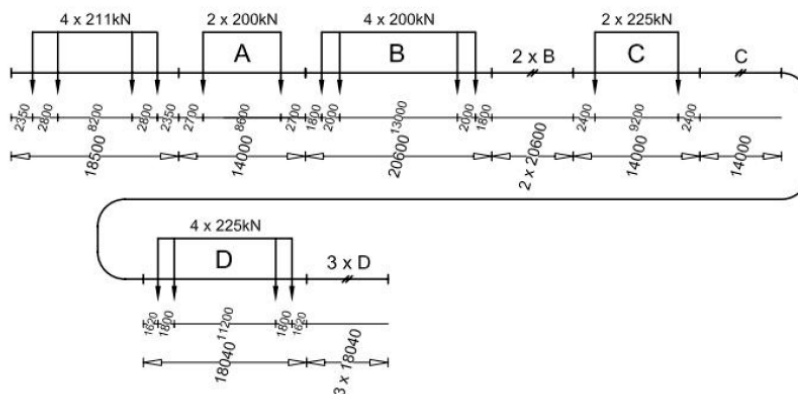
$$\Sigma Q = 2700 \text{ kN} \quad V = 120 \text{ km/h} \quad L = 150,4 \text{ m} \quad q = 18,0 \text{ kN/m}$$



Kuva H.6 Tyypä 5 – "Sm5"

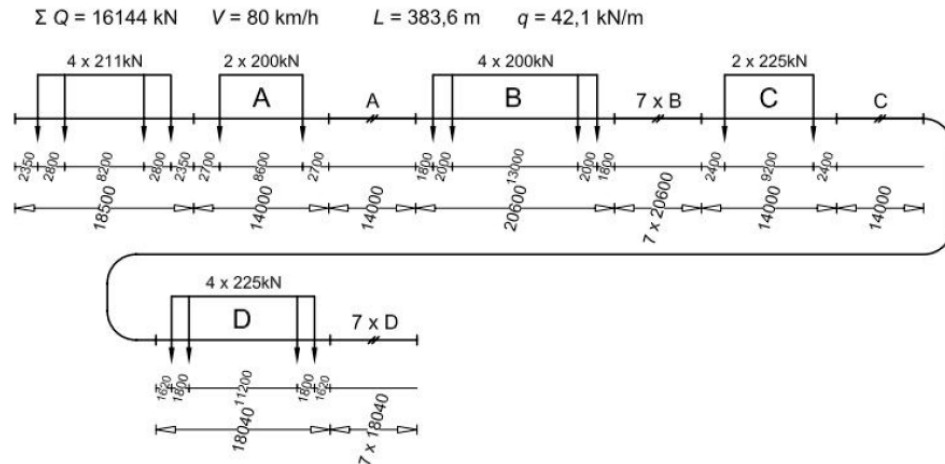
Kevyt tavarajuna

$$\Sigma Q = 8144 \text{ kN} \quad V = 80 \text{ km/h} \quad L = 194,5 \text{ m} \quad q = 41,9 \text{ kN/m}$$



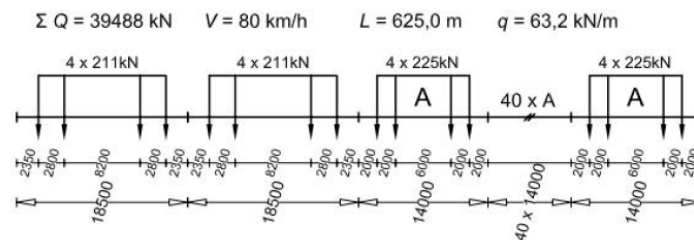
Kuva H.7 Tyypä 6 – "Kevyt tavarajuna"

Tavarajuna



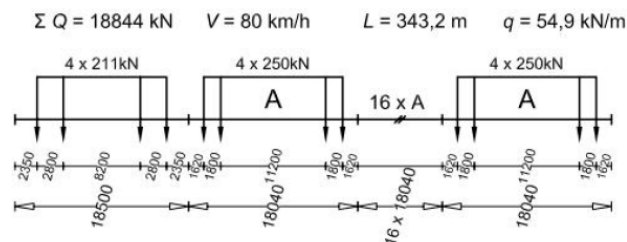
Kuva H.8 Tyypin 7 – "Tavarajuna"

Raskas tavarajuna



Kuva H.9 Tyypin 8 – "Raskas tavarajuna"

Tavarajuna 25t



Kuva H.10 Tyypin 9 – "Tavarajuna 25t"

Taulukko H.1 Liikenteen koostumus kaupunkiradoilla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [10 ⁶ t / vuosi / rata-osa]
5	320	265	30,95

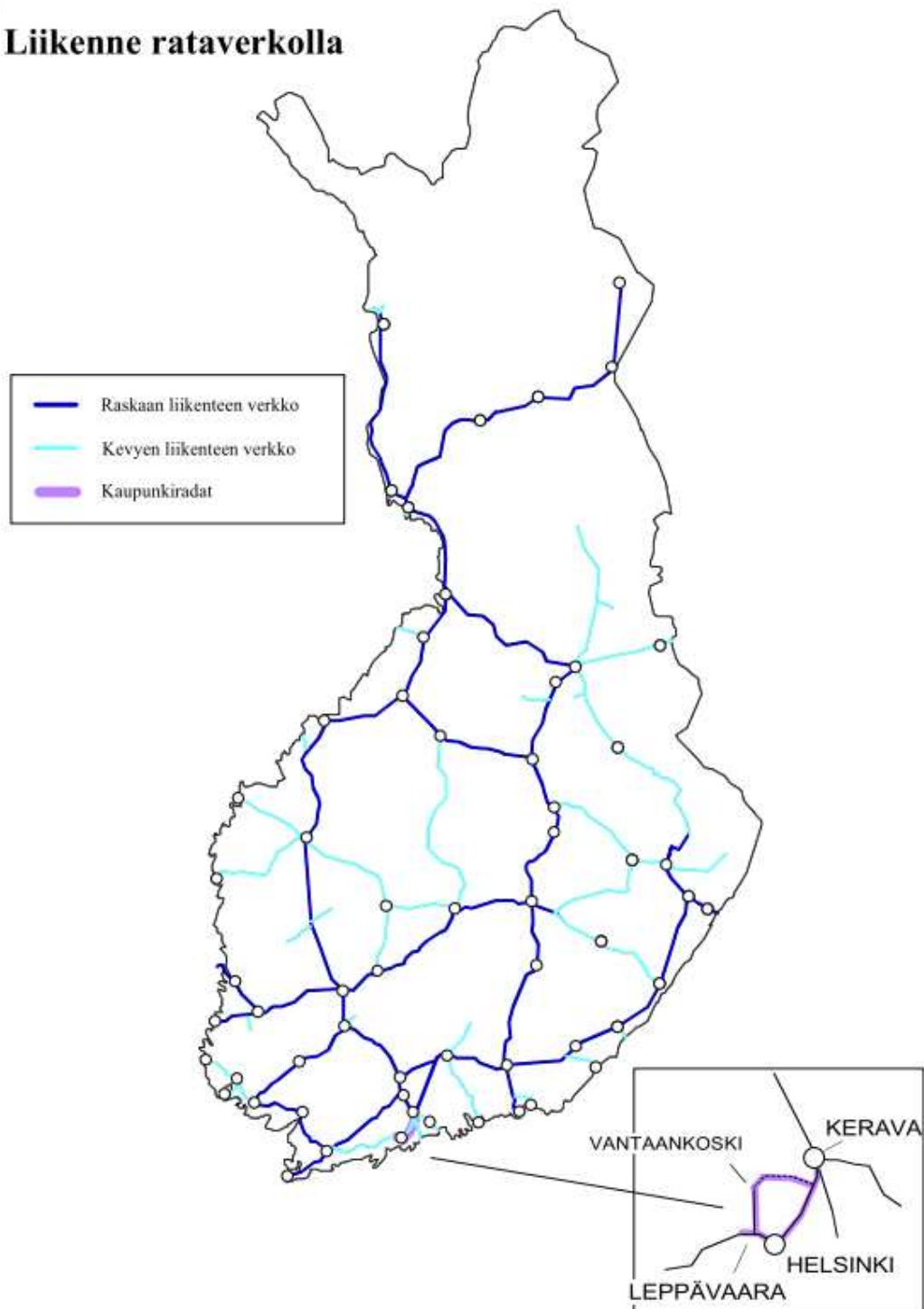
Taulukko H.2 Liikenteen koostumus kevyen liikenteen verkolla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [10 ⁶ t / vuosi / rata-osa]
1	2	758	0,55
2	6	744	1,63
4	10	148	0,54
6	6	814	1,78
7	6	1614	3,53
	30		8,03

Taulukko H.3 Liikenteen koostumus raskaan liikenteen verkolla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [10 ⁶ t / vuosi / rata-osa]
1	10	758	2,77
2	32	744	8,69
3	2	1464	1,07
4	30	148	1,62
6	16	814	4,75
7	16	1614	9,43
8	4	3949	5,77
9	2	1884	1,38
	112		35,48

Kuva H.11

Liikenne rataverkolla

Kuva H.11 Suomen raskaan ja kevyen liikenteen verkko

H.12 Siirtomenetelmällä rakennettavat sillat

Siirtomenetelmällä rakennettavissa silloissa tarkastetaan sillan työnaikainen rasitus-tila. Sillan siirron aikainen rasitustila hallitaan joko:

- tuntemalla siirron aikaiset tukireaktiot, jolloin niiden suuruudet ja sallitut poikkeamat ilmoitetaan suunnitelmassa
- tuntemalla siirron aikainen rakenteen geometria, jolloin suunnitelmassa esitetään sallitut muoto-poikkeamat (siirtoratojen painumat)

Siirtomenetelmästä aiheutuvat kuormat voidaan käsitellä kuormien yhdistelyssä tukipainumina.

Siirronaikaisissa tarkasteluissa tulee ottaa huomioon koko sillan poikkileikkaus ottaen huomioon myös reunapalkit (tarvittaessa reunapalkit voidaan katkaista rasite-tuimmista kohdista).

Siirtotilannetarkastelussa jännitetyn betonisillan vetojännitykselle voidaan sallia arvo f_{ctm} .

Siirtomenetelmässä on suunnittelussa otettava huomioon siltakannen ja sillan tukien väliset korkopoikkeamat kohdan H.13 mukaisesti.

Laskettaessa silta laakerittoman tuen (esim. teräspalkkipaalu) varaan, käytetään tukireaktion epäkeskisyytenä mitoituksessa arvoa $e_t = d/2$ (d = tuen leveys tarkasteltavassa suunnassa). Epäkeskisyyttä käytetään kuormille, jotka vaikuttavat ennen siltakannen liittämistä perustuksiin.

Liittämisen jälkeisille kuormille epäkeskisyyden $e_t = 0$.

Paalujen mitoituksessa on otettava huomioon sijainti- ja kaltevuustoleranssit RIL 254–2016 mukaisesti.

H.13 Tukikorkopoikkeamat

Silloissa, joissa kansirakenne siirretään alusrakenteille asennettujen laakereiden varaan, otetaan mitoituksessa huomioon tukien sallitut korkeuspoikkeamat suunnittelusta korkeustasosta.

Tukikorkopoikkeama on pysyvä pitkäaikainen kuorma, jonka aiheuttamien rasitusten laskennassa voidaan käyttää pitkäaikaista kimmokerrointa.

Alusrakenteisiin jäykästi kiinnitetyn siltakannen osalta otetaan huomioon ainoastaan ennen liittämistä vaikuttavat kuormat.

Tukikorkopoikkeaman aiheuttama sillan tukireaktioiden epätasainen jakautuminen alusrakenteille ja laakereille selvitetään tapauskohtaisesti.

Suunnittelija määrää sallitut tukikorkopoikkeamat. Yhtenäiselle laakerikorokkeelle asennettujen kumilevy-laakereiden korkeuseroksi voidaan tavallisesti olettaa 0 mm.

Siirtomenetelmässä on suunnittelussa otettava huomioon siltakannen ja sillan tukien väliset tukikorkopoikkeamat:

- sillan pituussuunnassa peräkkäisten tukilinjojen korkopoikkeama on 5 mm koko tukilinjalle.
- sillan poikittaissuunnassa 5 mm tukipistettä kohden kohdetukilinjan koostuessa vain kahdesta tukipisteestä.
- tukilinjan koostuessa useammasta kuin kahdesta tukipisteestä mitoitetaan siltakansi 2 mm tukikorkopoikkeamalle (kukin tukipiste erikseen). Mikäli sillan kuormista ei aiheudu ko. suuruista painumaa mitoitetaan kansi ilman kyseistä tukea. Alusrakenteisiin kiinnitettävän siltakannen osalta otetaan huomioon ainoastaan ennen liittämistä vaikuttavat kuormat.

Korkotoleranssit ilmoitetaan laakerointisuunnitelmassa (ks. Liikenneviraston ohje *Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun*). Vaakatoleranssien osalta noudatetaan InfraRYL 42420.3.2, jos suunnitelma ei vaadi tiukempia rajoja.

Tässä liitteessä on esitetty tiesiltöjen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - o Kuormien yhdistelykerrointaulukko A.2.1(FI)
 - o Murtorajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - o Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - o Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - o Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.2....A2.2.4)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määräävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määräävimät kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
gr1...gr5	Kuormaryhmät (kpl B.4.5)
F _{wk}	Tuulikuorma (kpl C)
T _k	Lämpötilakuorma (kpl D)
BF	Laakerikitka (kpl H.3)
IL	Jääkuorma (kpl H.1)
S	Tukipainuma (kpl H.2)
TLEP	Liikennekuorman maanpaine (kpl H.4)
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a'= käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b'= käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c'= käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 1: Tiesillat – murtorajatila:

TIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)													
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)													
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_11													
	MRT_0	MRT_1	MRT_2	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	MRT_8	MRT_9	MRT_10	MRT_11	
	6.10a	gr1a LM1	gr1b LM2	LM1+vaaka	gr3 kevyt	gr4 ruuhka	gr5 LM3	F _{wk} Tuuli	T _k Lämpötila	BF Laakerikikka	IL Jääkuorma	TLEP Lk-maanp.	
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	1.35 Esiännitys 1,1 / 0,9 ⁴⁾	STR/GEO: 1,25 / 0,9 EQU: 1,15 / 0,9											
		STR/GEO: 1,1 / 0,9 ⁴⁾ EQU: 1,1 / 0,9 ³⁾											
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	gr1a (LM1)	-	-	-	-	-	-	-	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	
	gr1b (LM2)	-	-	-	-	-	-	-	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	
	gr2 (LM1+Vaaka)	-	1.35	-	-	-	-	-	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	
	gr3 (Kevyt)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	gr4 (Ruuhka)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	gr5 (LM3)	-	-	-	-	-	1.35	-	-	-	-	-	
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	F _{wk} ¹⁾	-	-	-	-	-	-	1.5	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	
	T _k ²⁾	-	-	-	-	-	-	1.5 x 0.6	1.5	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	
	BF	-	-	-	-	-	-	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	
	IL	-	-	-	-	-	-	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5	1.5 x 0.7	
	S ²⁾	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
	TLEP	-	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35 x 0.75	1.35	

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. materiaali-kohtaiset sovellusohjeet)

3) Stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 / 0,9 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom)]

4) Paikalliset vaikutukset 1,20 / 0,9 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom)]

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan

- Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

■ = Määräävä muuttuva kuorma

Eurokoodin soveltamisohje

Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)

Taulukko 2: Tiesillat – käyttörajatilat ja onnettomuusyhdistelmä:

Tiesillat	
Onnettomuusyhdistelmä	
Ad	1
Omapaino	1
Esiännitys	1
Telit	0.75
UDL	0.4
Kevyt	-
gr1a ³⁾	-
gr1b	-
gr2	-
gr3	-
gr4	-
gr5	-
F _{wk} ¹⁾	-
T _k	0.5
BF	0.4
IL	0.2
S ²⁾	-
TLEP	-

TIESILLAT - KÄYTTÖRAJATILA - Ominaisyyshdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16), Pysyvät kuormat																						
(6.14)													(6.15)						(6.16)		Pysyvät	
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA																						
KRT_1a - KRT_11a													KRT_1b - KRT_11b						KRT_1c		KRT_1d	
1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	1b	2b	5b	7b	8b	9b	10b	11b	1c	1d		
gr1a	gr1b	gr2	gr3	gr4	gr5	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	gr1a	gr1b	gr4	F _{wk}	T	BF	IL	TLEP	-	-		
Omapaino	1												1						1		1	1
	1												1						1		1	1
	1												1						1		1	1
	1												1						1		1	1
	1												1						1		1	1
Esiännitys	1												1						1		1	1
Telit	1												1						1		1	1
UDL	1												1						1		1	1
Kevyt	1												1						1		1	1
gr1b	1												1						1		1	1
gr2	1												1						1		1	1
gr3	1												1						1		1	1
gr4	1												1						1		1	1
gr5	1												1						1		1	1
F _{wk} ¹⁾	1												1						1		1	1
T _k	1												1						1		1	1
BF	1												1						1		1	1
IL	1												1						1		1	1
S ²⁾	1												1						1		1	1
TLEP	1												1						1		1	1

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

2) Tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistetään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

3) Onnettomuusyhdistelmässä liikennekuormakaavio LM1 otetaan huomioon (tavallisella arvoillaan) vain yhdellä kaistalla.

4) Liikenteen aiheuttaman vaaka-suuntaisen maanpaineen tapauksessa voidaan käyttää arvoa 0.4

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

= Määräävä muuttuva kuorma

Eurokoodin soveltamisohje**Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)****Tässä liitteessä on esitetty rautateiden siltojen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.**

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - o Kuormien yhdistelykerrointaulukko A.2.3 ja siihen kansallisessa liitteessä annettu lisäys
 - o Murtorajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - o Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - o Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - o Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.1....A2.2.5)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määräävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määräävimmit kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.
- Rautatieliikennekuormina ei käytetä standardissa SFS-EN 1991-2 6.8.2 taulukossa 6.11 määritettyjä kuormaryhmiä. Sen sijaan rautatieliikennekuormitusta pidetään yksittäisenä usean suuntakomponentin käsittävänä muuttuvana kuormana, jonka yksittäisinä rautatieliikenteestä aiheutuvina kuormakomponentteina pidetään suurinta epäedullisinta ja pienintä edullista arvoa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
LM71 tai SW/o	Rautatiesiltojen yleiset kuormakaaviot (kpl B.6.3.2 ja kpl B.6.3.3)
KJ	Kuormakaavio ”kuormittamaton juna” (kpl B.6.3.4)
ML	Yleisöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat (kpl B.6.3.7 ja kpl B.6.3.8)
F _{wk}	Tuulikuorma (kpl C)
Tk	Lämpötilakuorma (kpl D)
BF	Laakerikitka (kpl H.3)
IL	Jääkuorma (kpl H.1)
S	Tukipainuma (kpl H.2)
TLEP	Liikennekuorman maanpaine (kpl H.4)
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a'= käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b'= käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c'= käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Eurokoodin soveltamisohje

Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)

Taulukko 1: Rautatiesillat – murtorajatila

RAUTATIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)									
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)									
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_9									
MRT_0	MRT_1	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	MRT_8	MRT_9	
6.10a	LM71 / SW/0	ML	Fwk	Fwk & KJ ⁵⁾	Tk	BF	IL	TLEP	
STR/GEO: 1,25 / 0,9 EQU: 1,15 / 0,9									
STR/GEO: 1,1 / 0,9 ⁴⁾ EQU: 1,1 / 0,9 ³⁾									
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	Omapaino	1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	-	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	Esijännitys	-	-	-	1,45 x 0,8	-	-	-	-
	LM71 / SW/0 ⁶⁾	1,5 x 0,8	1,5	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8
	KJ	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5	1,5 x 0,6	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75
	ML	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	F _{wk} ¹⁾	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	T _k ²⁾	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7
	BF	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	IL	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8
	S ²⁾	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8
TLEP									

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

- Tuulikuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun sillan pitkäisuuntaiset liikennekuormat ovat mukana täydellä arvoillaan (SFS-EN 1990 A2.2.4(3))

2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. Mat.kohtaiset sovellusohjeet)

3) Stabiiliuteita tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom1)]

4) Paikalliset vaikutukset 1,20 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom1)]

5) Yhdistelmä otetaan huomioon vain tarkistettaessa rakenteen stabiiliutta jäykkänä kappaleena

6) Sisältää rautatiliikenteen pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset komponentit yhdisteltynä soveltamissohjeen NCCI 1 taulukon B.10 mukaisesti

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan

- Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

= Määräävä muuttuva kuorma

•

Taulukko 2: Rautatiesillat – käyttörajatilat ja onnettomuusyhdistelmät:

RAUTATIESILLAT - KÄYTTÖRAJATILA - Ominaisyhdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16), Pysyvät kuormat													
(6.14)													
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVA KUORMA													
YHDISTELYKAAVAT KRT_1a - KRT_9a													
KRT_1a	KRT_3a	KRT_4a	KRT_6a	KRT_7a	KRT_8a	KRT_9a							
LM71 / SW/0	ML	Fwk	Tk	BF	IL	TLEP	KRT_1b	KRT_3b	KRT_4b	KRT_6b	KRT_7b	KRT_8b	KRT_9b
1							1						
Omapaino													
Esijännitys	1						1						
LM71 / SW/0 ⁶⁾	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	3)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ML	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	-	0.5	-	-	-	-	-
Fwk ¹⁾	0.75	0.75	1	0.75	0.75	0.75	-	-	0.5	-	-	-	-
Tk	0.6	0.6	0.6	1	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
BF	0.6	0.6	0.6	0.6	1	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
IL	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2
S ²⁾							0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
TLEP	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3)	0.2
1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle, jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.													
- Tuulikuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun sillan pitkäisuuntaiset liikennekuormat mukana täydellä arvolla (SFS-EN 1990 A2.2.4(3))													
2) Tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely													
3) Kerroin riippuu kuormitettujen raiteiden määrästä i seuraavasti: 0,8 kun i=1, 0,7 kun i=2 ja 0,6 kun i≥3													
4) Ad= Suistumiskuorma NCCI 1 kappaleen B.6.7.1 mukaan. Yhdistelykertoimet koskevat muilla raiteilla olevaa liikennekuormaa.													
5) Mikäli hankekohtaisesti ei muuta päätetä (esim. rataphalla), voi onnettomuusyhdistelmissä sillalla olevan liikennekuorman puolittaa													
6) Sisältää rautatieliikenteen pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset komponentit yhdisteltynä soveltamisohjeen NCCI 1 taulukon B.10 mukaisesti													
- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan													
= Määrävä muuttuva kuorma													

RAUTATIESILLAT			
Onnettomuusyhdistelmä			
Ad	Suistuminen sillalla ⁴⁾		Törmäys sillan alapuolella
	1	1	1
	1	1	1
	0.8	-	3)
	-	-	-
	0.5	0.5	0.5
BF		0.4	0.4
IL		0.2	0.2
S ²⁾			
TLEP		0.2	0.2

Eurokoodin soveltamisohje**Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)****Tässä liitteessä on esitetty kevyen liikenteen siltojen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.**

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - Kuormien yhdistelykerrointaulukko A2.2(FI)
 - Murtorajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.2....A2.2.4)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määräävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määräävimmit kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
gr1 ja gr2	Kuormaryhmät (kpl B.5.5)
F _{wk}	Tuulikuorma (kpl C)
T _k	Lämpötilakuorma (kpl D)
BF	Laakerikitka (kpl H.3)
IL	Jääkuorma (kpl H.1)
S	Tukipainuma (kpl H.2)
TLEP	Liikennekuorman maanpaine (kpl H.4)
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a'= käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b'= käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c'= käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 1: Kevyen liikenteen sillat – murtorajatila:

KEVYEN LIIKENTEEN SILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)									
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)									
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_7									
	MRT_0	MRT_1	MRT_2	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	
	6.10a	gr1	gr2	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	
SET A (EQU) & SET B (STR/EQU)	1.35 1,1 / 0,9 ³⁾								
		1.35	-	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	0.4
		-	1.35	-	-	-	-	-	-
		1.5	0.3	1.5	0.3	1.5	0.3	1.5	0.3
		1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	0.6
		1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	0.6
		1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5	1.5 x 0.7	0.7
	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	-	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35 x 0.4	1.35

1) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä

2) Stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom)]

3) Paikalliset vaikutukset 1,20 (STR/EQU) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom)]

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan

- Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa

= Määrävä muuttuva kuorma

Eurokoodin soveltamisohje

Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (6.12.2017)

Taulukko 2: Kevyen liikenteen sillat – käyttörajatilat ja onnettomuusyhdistelmä:

KEVYEN LIIKENTEEN SILLAT - KÄYTTÖRAJATILA																			
Ominaisyhdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16), Pysyvät kuormat										KVL-sillat									
(6.14)										Onnettomuusyhdistelmä									
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA																			
KRT_1a - KRT_7a					KRT_1b - KRT_7b					KRT_1c					KRT_1d				
1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	1b	3b	4b	5b	6b	7b	1c	1d	1e	1f	1g	1h	1i
gr1	gr2	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	gr1	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	1	1	1	1	1	1	1
Omapaino	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Esijännitys	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
gr1	1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
gr2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F _{wk}	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
T _k	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
BF	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
IL	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
S ¹⁾	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TLEP	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

1) Tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

= Määrävä muuttuva kuorma

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-6648
ISBN 978-952-317-486-3
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

Tämä asiakirja on allekirjoitettu

Lista allekirjoittajista

Allekirjoittaja

Todennus